



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA MECÁNICA DEL POLVO DE CAUCHO
PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN
DE CARRETERAS EN LA CIUDAD DE LIMA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Nefi Moroni Godoy Salcedo

Asesor:

Mg. Daniel Bernal Díaz

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios por darme la oportunidad de seguir en esta meta y también las fuerzas necesarias en los momentos más difíciles de mi vida y bendiciones que siempre ha derramado y derrama sobre mi persona durante toda mi existencia.

A mi querida esposa por su apoyo incondicional y pujanza en cada momento de desaliento durante el transcurso de mis estudios, por ser una esposa especial y darme los ánimos con sus palabras alentadoras a seguir adelante con esta meta.

A mi hermano que me alentó a estudiar y ponerle fuerza en mis estudios, además a todas personas que me han apoyado en este camino y han permitido que este propósito se realice con éxito en especial a mis familiares y aquellos compañeros de estudio.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos los profesionales que fueron partícipes de esta experiencia, al Tec. Héctor Huapaya por expresar sus conocimientos en cuanto a este proyecto y apoyo incondicional para lograr esta meta, al laboratorio WRC INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.A.C. por apoyarme en los ensayos de laboratorio y así obtener la información para poder iniciar este proceso de titulación, a mi amada esposa por su incansable dedicación y apoyo de poder terminar este proyecto y lograr ser un profesional, a mi madre por ser ella quien me trajo a esta vida y darme la oportunidad de ser un profesional y poder compartir este logro con mi propia familia.

Agradecer a todos los profesionales que se cruzaron en mi vida la cual pude extraer la mejor enseñanza que ellos me pudieron brindar y experiencias que ellos pudieron vivir en todo su trayecto como profesionales.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN	12
CAPÍTULO II. INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	58
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	98
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	122
REFERENCIAS.....	128
ANEXOS	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes del asfalto.....	29
Tabla 2 Requerimiento para los agregados gruesos.....	35
Tabla 3 Agregados finos	41
Tabla 4 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	41
Tabla 5 Requisitos para mezcla de concreto bituminoso	42
Tabla 6 Resultados del ensayo de caracterización del cemento asfáltico PEN 60-70.	62
Tabla 7 Agregado grueso TM ¾ - Gradación.....	63
Tabla 8 Agregado Fino - Gradación	64
Tabla 9 Porcentaje de combinación de agregados.	64
Tabla 10 Gradación combinada dentro de uso granulométrico de ASTM D 3515.	65
Tabla 11 Características físicas del agregado grueso	66
Tabla 12 Características físicas del agregado fino	66
Tabla 13 Resultado del diseño Marshall de la mezcla convencional	68
Tabla 14 Requerimiento EG-2013 y diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional	70
Tabla 15 Granulometría de los granos caucho original.	72
Tabla 16 Características físicas del polvo de caucho utilizado.	73
Tabla 17 Resultados del ensayo Inmersión – Compresión	80
Tabla 18 Resultados de densidad.....	85
Tabla 19 Resultados de estabilidad.....	85
Tabla 20 Resultados del flujo.	86
Tabla 21 Resultados de vacíos en la mezcla.	87
Tabla 22 Resultados de vacíos en el agregado mineral.....	87
Tabla 23 Resultados de vacíos llenos de asfalto.....	88

Tabla 24 Requerimiento EG-2013 y diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional	90
Tabla 25 Resultados de la resistencia a la compresión diametral.....	92
Tabla 26 Resultados de resistencia conservada por tracción indirecta respecto al % caucho.	93
Tabla 27 Probetas después del ensayo de desgaste.....	94
Tabla 28 Resultados de la pérdida por desgaste respecto al % caucho	94
Tabla 29 Condición de término en ensayo de Hamburgo.	95
Tabla 30 Parámetros de ahuellamiento del ensayo de Hamburgo.	96
Tabla 31 Módulo Resiliente y sensibilidad a la temperatura	97
Tabla 32 Resultados de ensayo Marshall	99
Tabla 33 Análisis de t Student para la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.	100
Tabla 34 Análisis de t Student para el Flujo de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.	102
Tabla 35 Análisis de t Student para la Resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.	104
Tabla 36 Análisis de t Student para la Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Seco) de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.	106
Tabla 37 Análisis de t Student para la Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Húmedo) de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.	108
Tabla 38 Análisis de t Student para la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.....	110
Tabla 39 Análisis de t Student para el Módulo Resiliente a 20°C de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.....	112

Tabla 40 Análisis de t Student para el Módulo Resiliente a 25°C de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.....	114
Tabla 41 Análisis de Precios Unitarios - Mezcla asfáltica.....	116
Tabla 42 Análisis de Precios Unitarios - Mezcla asfáltica con polvo de caucho incorporado	117
Tabla 43 Costos y Periodos estimados de mantenimiento del asfalto convencional.....	118
Tabla 44 Costos y Periodos estimados de mantenimiento del asfalto con polvo de caucho incorporado.....	119
Tabla 45 Precio de mantenimiento por 10 Km/Año	120
Tabla 46 Vida útil del pavimento con los dos tipos de alternativas	120

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Evaluación del Indicador porcentaje de la Red Vial Pavimentada (Expresada en Kilómetros).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2 Evaluación del Indicador porcentaje de la Red Vial Pavimentada en buen estado (Expresada en Kilómetros).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3 Longitud de Infraestructura Vial, según Jerarquía y superficie de Rodadura 2019 (kilómetros)</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4 Referencia Estadística Tipo de la Superficie de Rodadura de la Red Vial Nacional</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 Acabado de una vía asfaltada.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6 Proceso de producción de asfalto</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7 Consistencia vs temperatura</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8 Proceso de preparación de una mezcla asfáltica</i>	<i>34</i>
<i>Figura 9 Composición de las llantas</i>	<i>45</i>
<i>Figura 10 Principales países que exportan el caucho</i>	<i>46</i>
<i>Figura 11 Caucho triturado.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 12 Componente de las llantas</i>	<i>48</i>
<i>Figura 13 Selección de caucho</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14. Esquema donde se puede observar las fallas en el pavimento</i>	<i>50</i>
<i>Figura 15 Presencia de fallas calavera.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 16 Presencia de baches en las vías</i>	<i>52</i>
<i>Figura 17 Ondulación en la vía.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 18 Fallas longitudinales.....</i>	<i>53</i>

<i>Figura 19</i> Fallas transversales	54
<i>Figura 20.</i> Falla piel de cocodrilo	54
<i>Figura 21</i> Agregado Grueso TM $\frac{3}{4}$ "	63
<i>Figura 22</i> Agregado Fino.....	64
<i>Figura 23</i> Gradación combinada. (Referencial).....	65
Figura 25 Variación del flujo respecto al % Cemento asfáltico	68
Figura 24 Variación del peso específico respecto al % Cemento asfáltico.....	68
<i>Figura 26.</i> Variación de Vacíos respecto al % Cemento asfáltico.	69
<i>Figura 26.</i> Variación del VMA respecto al % Cemento asfáltico.....	69
Figura 26 Variación de la estabilidad respecto al % Cemento asfáltico	69
Figura 27 Muestra de polvo caucho (Referencial)	72
Figura 28 Muestra de polvo caucho para hallar el contenido de impurezas.	73
Figura 29 Combinación de agregados.....	74
Figura 30 Cantidad de caucho a utilizar por probeta.	75
Figura 31 Mezcla de agregados con los granos de caucho.	75
Figura 32 Mezcla de agregados, caucho y cemento asfáltico.	76
<i>Figura 33.</i> Compactación de la mezcla asfáltica modificada.	77
Figura 34 Compactación de probetas por compresión.....	78
Figura 35 Probetas a temperaturas de 153°C, 158°C, 170°C y 180°C.	78
Figura 36 Compresión Axial de Probetas.	79
Figura 37 Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 153°C.	83
Figura 38 Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 158°C.	83
Figura 39 Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 170°C.	84
Figura 42 Variación del flujo de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico	89

Figura 43 Variación del peso específico de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico.....	89
Figura 44 Variación Vacíos de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico	89
Figura 45 Variación de Vacíos en el agregado mineral de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico.....	89
Figura 46 Variación de la estabilidad de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico.....	89
Figura 47 Ensayo de compresión diametral.	91
Figura 48 Probetas después de realizar el ensayo de compresión diametral al daño inducido por humedad.	92
Figura 49 Ensayo de compresión diametral al daño inducido por humedad.	93
Figura 50 Ensayo realizado en la Maquina de los Ángeles.....	94
Figura 51 Probetas acondicionadas bajo agua con el equipo de ensayo de Hamburgo	95
Figura 52 Probetas ensayadas en la Rueda de Hamburgo (con y sin caucho).	96
Figura 53 Probeta acondicionada en el equipo de ensayo de Módulo Resiliente.....	97
Figura 54 Contraste del valor T de la estabilidad en la región de aceptación y rechazo ...	101
Figura 55 Contraste del valor T del flujo en la región de aceptación y rechazo.	103
Figura 56 Contraste del valor T de la resistencia a la compresión diametral en la región de aceptación y rechazo.	105
Figura 57 Contraste del valor T de la resistencia inducido a la humedad (Grupo Seco) en la región de aceptación y rechazo.....	107
Figura 58 Contraste del valor T de la resistencia inducido a la humedad (Grupo Húmedo) en la región de aceptación y rechazo.	109

Figura 59 Contraste del valor T de la pérdida por desgaste en la región de aceptación y rechazo.	111
Figura 60 Contraste del valor T del módulo resiliente a 20°C en la región de aceptación y rechazo.	113
Figura 61 Contraste del valor T del módulo resiliente a 20°C en la región de aceptación y rechazo.	115

RESUMEN

La presente investigación, fue realizada para la costa, exclusivamente para las redes viales de la ciudad de Lima Metropolitana con el fin de mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica mediante la incorporación de caucho, a fin de ofrecer una alternativa de solución a los problemas que afectan al asfalto y consecuentemente a la carpeta asfáltica. Obtenidas las características de los agregados y del cemento asfáltico, se procedió a efectuar ensayos de Compresión-Inmersión a la mezcla modificada para determinar la temperatura y tiempo de digestión, así como ensayos Marshall sobre la mezcla asfáltica convencional y modificada con caucho a fin de evaluar su comportamiento mecánico.

Con los diseños óptimos de ambas mezclas, se procedió a evaluar su comportamiento mediante los ensayos de caracterización y desempeño: Resistencia a la compresión diametral, Resistencia de la mezcla asfáltica compactada al daño inducido a la humedad, Ensayo de cántabro de pérdida por desgaste, Ahuellamiento por medio de la Rueda de Hamburgo y Módulo resiliente. Los resultados obtenidos muestran mejoras en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada, lo cual permitió concluir que la incorporación del caucho en una mezcla asfáltica presenta: menor pérdida de resistencia por efecto del agua, mayor resistencia a la deformación, mayor cohesión y resistencia al esfuerzo cortante, mayor resistencia al ahuellamiento y menor daño por humedad, mejora el comportamiento elástico, así como presenta similar comportamiento en la resistencia a la disgregación de la mezcla; los cuales se traduce en una mayor durabilidad ante los agentes agresores e incrementa la vida útil del pavimento.

Por otro lado, se determina que un asfalto modificado ofrece mejor servicio al tránsito vehicular, dando mayor tiempo de vida de 10 años y de esta manera disminuye el

periodo de mantenimiento vial en 23.50%, generando ahorro de \$ 4151.30 ya que es el propósito de todo proyecto.

Palabras clave: Mezcla asfáltica modificada con caucho, comportamiento mecánico.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

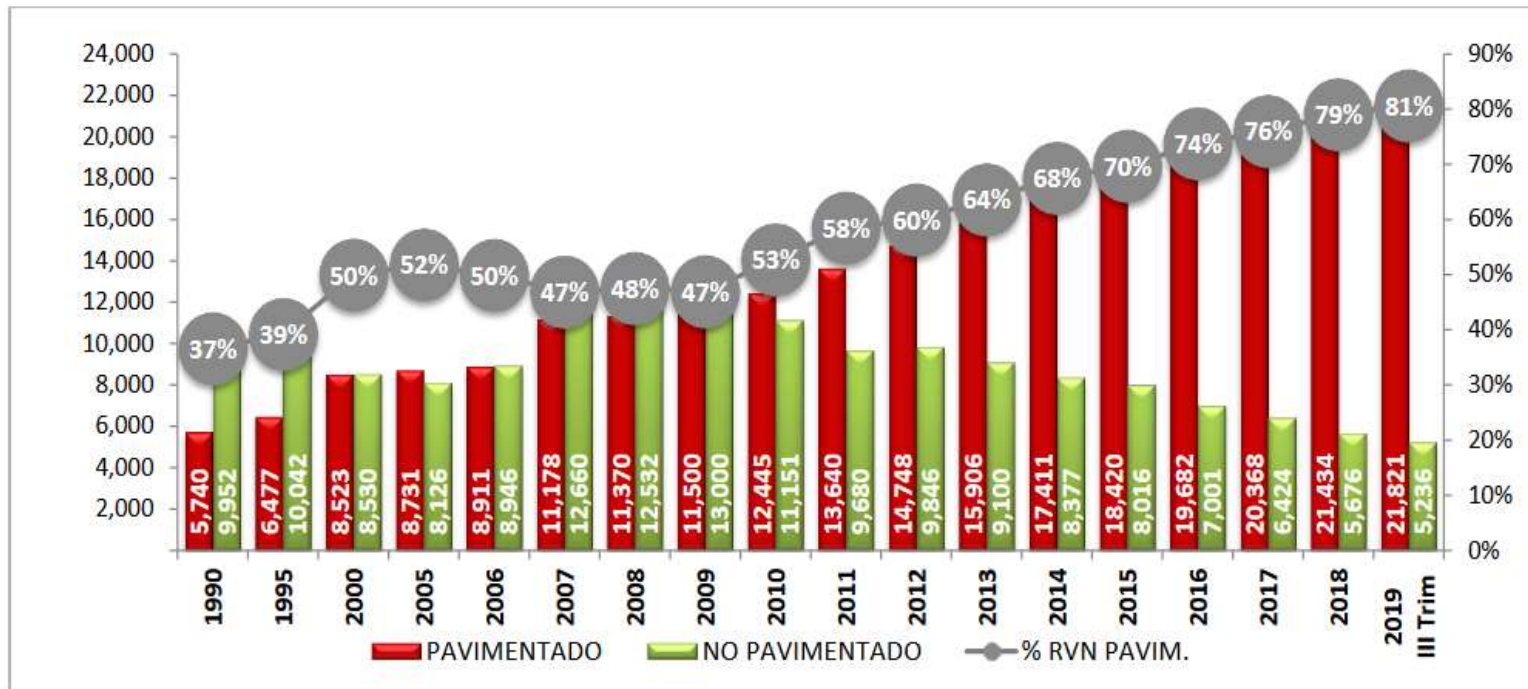
La mezcla de asfáltica es una opción más efectiva en la construcción de pavimentos y esto se viene desarrollando en diversos países del mundo y de esta forma beneficiar con una infraestructura vial de acuerdo a las necesidades. “Por esta razón surgen los estudios de investigación sobre mezclas asfálticas con polvo de caucho incorporado, como una alternativa de mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad en la mezcla asfáltica convencional, cuando son sometidos a diferentes condiciones de carga y ambiente que actualmente se presentan en las carreteras.” (Orellana, 2019)

Se ha estudiado que los principales problemas en la mezcla de asfáltica son: el envejecimiento debido a cambios en sus propiedades físicas y químicas lo cual tiene un efecto negativo en su comportamiento y durabilidad durante su vida útil, la deformación permanente debido a la falta de consistencia que aporta el asfalto a altas temperaturas produciendo ahuellamiento y fisuramientos por fatiga lo cual afecta al pavimento debido a las frecuentes cargas de trabajo impuestas sobre el asfalto en el pavimento (Angulo y Duarte, 2015, p. 7).

En el Perú se puede observar que las carreteras sufren fallas, las cuales afectan al tránsito vehicular, entre las cuales tenemos como agrietamiento, hundimiento asfáltico, ondulamiento entre otras. Donde cabe recalcar que perjudica directamente a la sociedad y al tránsito fluido. Generando así que la población se vea afectado por que ocasionan que los vehículos se malogren y se retrasen en sus viajes. (MTC, 2017).

Figura 1 Evaluación del Indicador porcentaje de la Red Vial Pavimentada (Expresada en Kilómetros)

CLASIFICADOR	DS 009-1995					DS 034-2007	DS 044-2008			DS 036-2011			DS 012-2013		DS 011-2016			2019
	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	III Trim
PAVIMENTADO	5,740	6,477	8,523	8,731	8,911	11,178	11,370	11,500	12,445	13,640	14,748	15,906	17,411	18,420	19,682	20,368	21,434	21,821
NO PAVIMENTADO	9,952	10,042	8,530	8,126	8,946	12,660	12,532	13,000	11,151	9,680	9,846	9,100	8,377	8,016	7,001	6,424	5,676	5,236
TOTAL	15,692	16,519	17,053	16,857	17,857	23,838	23,902	24,500	23,596	23,320	24,594	25,006	25,788	26,436	26,683	26,792	27,110	27,057
% RVN PAVIM.	37%	39%	50%	52%	50%	47%	48%	47%	53%	58%	60%	64%	68%	70%	74%	76%	79%	81%

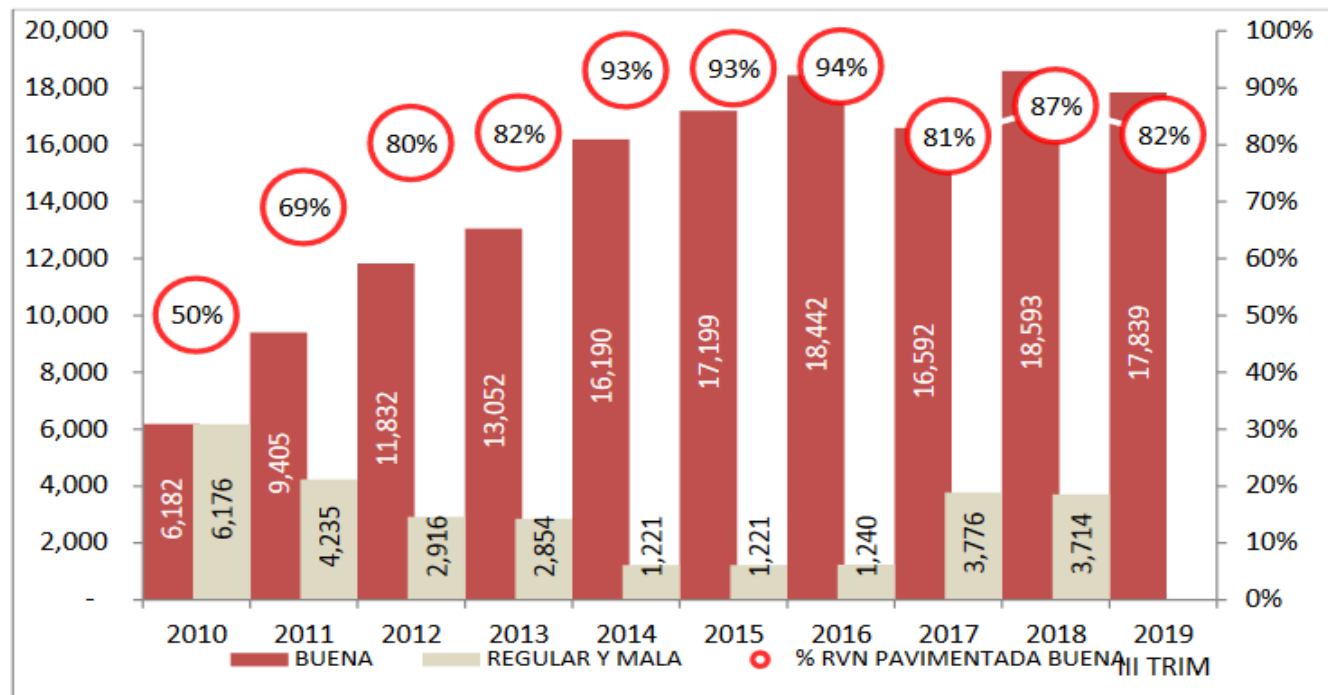


Fuente: Base datos GIS-PVN

Elaboración: OPP

Figura 2 Evaluación del Indicador porcentaje de la Red Vial Pavimentada en buen estado (Expresada en Kilómetros)

AÑOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019 III TRIM
BUENA	6,182	9,405	11,832	13,052	16,190	17,199	18,442	16,592	18,593	17,839
REGULAR Y MALA	6,176	4,235	2,916	2,854	1,221	1,221	1,240	3,776	3,714	3,982
RVN PAVIMENTADA	12,358	13,640	14,748	15,906	17,411	18,420	19,682	20,368	21,434	21,821
% RVN PAVIMENTADA BUENA	50%	69%	80%	82%	93%	93%	94%	81%	87%	82%



Fuente: Base datos GIS-PVN

Elaboración: OPP

Una ejecución de una carretera es costosa lo cual hace que cuando las vías estén en un mal estado el gobierno tenga que invertir en la rehabilitación. Los cuales son gastos adicionales, las fallas se pueden presentar de distintas maneras mala implementación de los materiales, estudios de índice medio diario anual no bien realizados las cuales afectan directamente a la capa asfáltica y tan bien un mal control en obra. Por otra parte, el tipo de suelo en la cual se ejecuta dicho proyecto afecta a la construcción de las carreteras, si este estudio no es bien realizado con las Calicatas correspondientes para tener el muestreo adecuado, la estructura de la carretera presenta fallas en un periodo de corto plazo.

Viéndose afectado el sector económico y urbano ya que por medio de las redes viales vecinales de Lima Metropolitana es por donde podemos hacer que el país este estabilizado económicamente, para el cual contamos con medidas de seguridad dando prioridad al transporte, por tanto según los últimos estudios realizados podemos observar que el país viene prosperando eficazmente con las construcciones de carreteras pavimentadas para ofrecer un mejor servicio al público y que estemos interconectados con los distintos distritos, regiones tanto nacional como internacional.

Según el ministerio de transportes y comunicaciones (MTC), el Perú en julio del 2016 registraba un 53.6% de carretera asfaltada 12,358 km, para diciembre del 2019 registraba un 75.5% de carretera asfaltada 17,411km y para julio del presente año se proyectaban en llegar a un 87.7% 20,235 km.

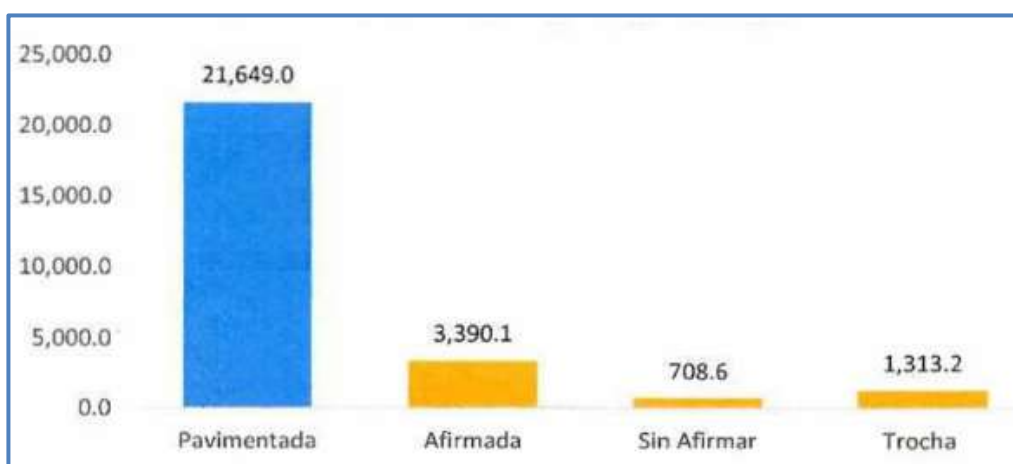
Por otro lado, los residuos sólidos provenientes de las llantas usadas en el sector transporte es una de las causas de la contaminación ambiental que afecta al país, ya que no se le ha dado un manejo apropiado dentro de la problemática ambiental. De lo antes expuesto, nace la necesidad de búsqueda de materiales que mejoren la mezcla asfáltica que forma parte de la estructura del pavimento y a la vez contribuyan con un ambiente menos contaminado.

Figura 3 Longitud de Infraestructura Vial, según Jerarquía y superficie de Rodadura 2019 (kilómetros)

SUPERFICIE DE RODADURA	SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS						TOTAL	
	Nacional		Departamental		Vecinal			
TOTAL	28,866.5	16.5%	32,199.0	18.4%	113,933.1	65.1%	174,998.5	100%
1. RED VIAL EXISTENTE:	27,060.9	16.1%	27,505.6	16,3%	113,792.7	67,6%	168,359.2	96,2%
Pavimentada	21,649.0	80%	3,623.1	13%	1,906.2	2%	27,178.3	16%
No Pavimentada	5,411.9	20%	23,882.5	87%	111,886.6	98%	141,180.9	84%
2. PROYECTADA	1,805.5	26,5%	4,693.4	71,3%	140.4	2,1%	6,639.32	3,8%

Fuente: GTT (Grupo Técnico de Trabajo) - Oficina de Estadística — Actualizada a julio 2019. Elaboración: MTC-OGPP-Oficina de Estadística

Figura 4 Referencia Estadística Tipo de la Superficie de Rodadura de la Red Vial Nacional



Fuente: Actualizado a julio 2019

Elaborado: Oficina de Inversiones - MTC

ANTECEDENTES

Antecedentes Internacionales:

Según (Terrones Andrés, 2014) con su tesis titulada: “Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho”. Tesis para optar el título de ingeniero civil. Publicado por la escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, Bogotá - Colombia. Tiene como objetivo general valorar algunas propiedades mecánicas y durabilidad de concretos con reemplazo parcial de agregado fino, por residuos de llantas, directamente en la conservación de factores contaminantes disminuyendo parcialmente el CO₂.

Una de las conclusiones más importantes del trabajo es que la densidad del concreto se ve claramente disminuida con el aumento del porcentaje de sustitución de caucho, esto se debe a la diferencia de densidades entre el caucho y el agregado fino que fue reemplazado, disminuyendo la densidad en 1.7%, 2.7% y 6% para el 10%, 20% y 30% de sustitución de caucho respectivamente, para lo cual no podría ser utilizado como concreto liviano. (p. 103).

Según (Angulo Ricardo y Duarte José Luis, 2015) con su tesis titulada “Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos”. Publicado por la universidad industrial de Santander Bucaramanga. En cual se esquematizado los residuos de llantas mediante la elaboración de un asfalto modificado con caucho con el fin de ofrecer una alternativa de solución a los problemas que afectan al asfalto y consecuentemente a la carpeta asfáltica, debido problemas medio ambientales nace la necesidad para incorporar materias primas a un diseño asfáltico ya que en otros países empezaron con esta nueva tendencia y en

donde obtuvieron resultados favorables y ahora lo siguen perfeccionando para que en la actualidad sea más continuo trabajar con esta metodología. (p. 12).

Donde se concluye que, mediante la incorporación de caucho de reciclado de llantas, en un asfalto convencional se logró la mejora en algunas de sus propiedades como la recuperación elástica por torsión y también el aumento de la resistencia a la deformidad notoriamente.

Según (Rodríguez Valdivia, Fernando Andrés. 2010), con su tesis titulada: “Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Austral de Chile, en la ciudad de Valdivia – Chile, concluye lo siguiente:

“Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia queda demostrado que las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados poseen un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar los asfalto es mejorar sus propiedades.”

Según (Marcozzi y Morca, 2011) ha realizado una tesis titulada Mezclas asfálticas semicalientes elaboradas con aditivos tensoactivos. Estudios comparativos del comportamiento mecánico respecto a las mezclas en caliente convencionales de la Universidad de Rio de Janeiro.

El presente trabajo tiene como objetivo “evaluar comparativamente los desempeños de mezclas asfálticas en caliente (HMA) y mezclas semicalientes (WAM) elaboradas con este último tipo de aditivos, los tensoactivos” Se ha llegado a la conclusión que los ensayos realizados indican también cambios en las propiedades cohesivas y/o de

adherencia de las mezclas asfálticas cuando se trabaja con temperaturas de mezclado y compactación reducidas. (p.26).

Antecedentes Nacionales:

Según (Fajardo Luis y Vergaray Alfonso, 2014) con su tesis titulada “Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas”. Publicado por la universidad san Martin de Porres, Lima - Perú. Donde se desea determinar la metodología a seguir para analizar y mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, a las cuales se les está incorporando el polvo de neumático reciclado, como material granular fino mediante el proceso seco. En donde se propone mejorar las propiedades del asfalto y también disminuir los gastos de mantenimiento por otra parte aumentamos la vida útil a este pavimento determinando beneficios técnicos, sociales y económicos aprovechando el desuso de neumáticos y contribuyendo al ecosistema. Donde concluye que el uso del material de caucho reciclado es confiable y ofrece beneficios con sus propiedades y por otra parte contribuye con la reducción de contaminación del CO₂.

Según (Marín Hernández, Alberto. 2008) con su tesis titulada: “Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima – Perú, concluye lo siguiente: “Aquí, se dieron a conocer los materiales que se pueden usar, para modificar los asfaltos convencionales. El uso de cualquiera de estos depende en gran medida del juicio del proyectista, el cual debe basarse en un criterio objetivo, desde la perspectiva técnica.”

Según Reyes, Madrid y Salas (2007) presente un trabajo titulado “Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-10)” de la Universidad Javeriana de Bogotá. Tiene como objetivo general determinar y cuantificar las mejoras de los desempeños mecánicos de mezclas asfálticas para rodadura con el uso de elastómeros (caucho) y plastómeros (tiras de bolsa de leche) y su incidencia en los módulos elásticos, fatiga y ahuellamiento. El autor concluye que La caracterización del asfalto realizada en los laboratorios de la universidad, mediante los ensayos de penetración, ductilidad, peso específico, viscosidad, punto de ablandamiento y punto de inflamación, son coherentes con los resultados de caracterización entregados por Patria S.A. realizados en la refinería de Barrancabermeja. (p.33).

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Generalidades

En los últimos años diferentes investigadores han implementado diversos tipos de modificaciones al asfalto de agregados de fibras de vegetales materiales y caucho con el fin de mejorar sus características mecánicas, para poder lograr su resistencia a la deformación factores climatológicos y del tránsito. El objetivo que se persigue con el asfalto de caucho reciclado es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas reduciendo así las distorsiones permanentes (ahuellamiento), para ello debemos tener en cuenta lo siguiente. (Angulo Rodríguez, 2008).

- Bajo costo
- Fácilmente aplicable
- Resistente a la flexibilidad
- Mezclable con el asfalto

2.2 Pavimento

(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 pág. 23) Es un conjunto de diferentes capas construidas sobre la subrasante de la vía para soportar y distribuir esfuerzos generados por los vehículos y optimizar las situaciones de seguridad y bienestar para el tránsito, en donde está conformado por las sucesivas estructuras.

- Base
- Subbase
- Capa de rodadura
- Suelo Compactado
- Subrasante

- **Drenaje**

Base:

(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 pág. 24) Es la estructura inferior de la capa de rodadura, que cumple como vital función de soportar, distribuir y derivar las cargas ocasionado por el tráfico. Donde la estructura será de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) también puede ser tratada con cal o cemento.

Sub-base:

(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 pág. 23) Es una estructura de material especificado y con un peralte de diseño donde resiste la base y la carpeta, también es para la capa de drenaje y del pavimento en donde esta estructura puede ser de material granular con un ($CBR \geq 40\%$).

Capa de rodadura

(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 pág. 23) Es la parte superior de un pavimento que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto cemento portland (rígido) o de adoquines, cuya principal función es de sostener directamente las cargas admisibles del tránsito.

El pavimento en las calles

En cuanto a las vías de comunicación se refiere, es el uso del pavimento es el que protagoniza su construcción gracias a la calidad, durabilidad y eficiencia que goza además de la resistencia que presenta. Contar con calles de pavimento asfáltico significa apostar por caminos duraderos en los que los vehículos transitan a la perfección.

Ahora, no todo dura para siempre, tendrás que tomar en cuenta el aspecto de mantenimiento en la pavimentación asfáltica, no obstante: existen maneras de hacerla más duradera de lo habitual. ¿Cuánto dura el pavimento en las calles?

El periodo de vida del pavimento asfáltico en vías de comunicación puede tener una gran brecha de tiempo: puede ir desde 5 años hasta 25 ¿A qué se debe esta abismal diferencia? ¡Al proceso de implementación e inclusive su clasificación!

El secreto está en las mezclas y la maquinaria que se emplean al momento de concebir el pavimento asfáltico (además de factores externos y ambientales que no puedes controlar): el equipo pesado con el que este se realice determinará la efectividad de la materia prima y su aprovechamiento. (Escudero Grupo Empresarial, 2019)

Durable

La pavimentación asfáltica es construida mediante capas de base que son gruesas, lo suficientemente para soportar mucho peso. Tras aplicar todas las capas, inicia la vida de la carretera que va entre 5 a 20 años. 15 años son los mínimos para que consideres una vía de comunicación. Pero ¿cómo lograr que sea aún más durable?

La manera de hacer más durable la pavimentación asfáltica.

Los expertos aseguran que existen varias maneras en las que se puede hacer una vía asfáltica más durable; que pueda durar de manera segura 15 a 20 años, es mediante la aplicación de distintos complementos, como lo es el uso de pequeños extractos de **caucho reciclado** o algo más efectivo: el riego de ligas. (Escudero Grupo Empresarial, 2019).

El riego de ligas es una aplicación de un material asfáltico (en cualquier tipo de asfalto o cemento con el objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima para que la vía de comunicación sea mucho más resistente.

Las construcciones de pavimentación asfáltica son durables. Sin embargo, con los materiales indicados pueden ser mucho más resistentes y con un periodo de vida considerable: así, los usuarios podrán aprovechar los beneficios de la carretera por mucho más tiempo. (Escudero Grupo Empresarial, 2019)

2.3. Asfalto

Según el ASTM (American Society for testing and materials) el asfalto es un material consistente de color marrón oscuro o negro oscuro conformado por una mezcla de productos bituminosos que se localizan en la naturaleza o se adquiere en el procesado del petróleo, En su aplicación en pavimentación sirven especialmente para dar cohesión y flexibilidad a la mezcla, usando su poder aglomerante para juntar las partículas de áridos. (...) Como en todos los componentes, la estructura y la composición química son las encargadas de las propiedades y características de los betunes asfálticos. Esta carpeta y composición química vienen representadas por la naturaleza del crudo de partida y el proceso utilizado en su fabricación. (Real sociedad española de química, 2003 pág. 43).

- Fracción pesada denominada asfáltenos
- Fracción ligera denominada máltenos

Por otra parte, el asfalto se puede encontrar mediante dos formas, etapa natural o producto de purificaciones del petróleo que en la actualidad es la más usada para la implementación de carreteras asfálticas en donde ofrece una mejor fluidez de vehículos entre otras ventajas.

Figura 5 Acabado de una vía asfaltada



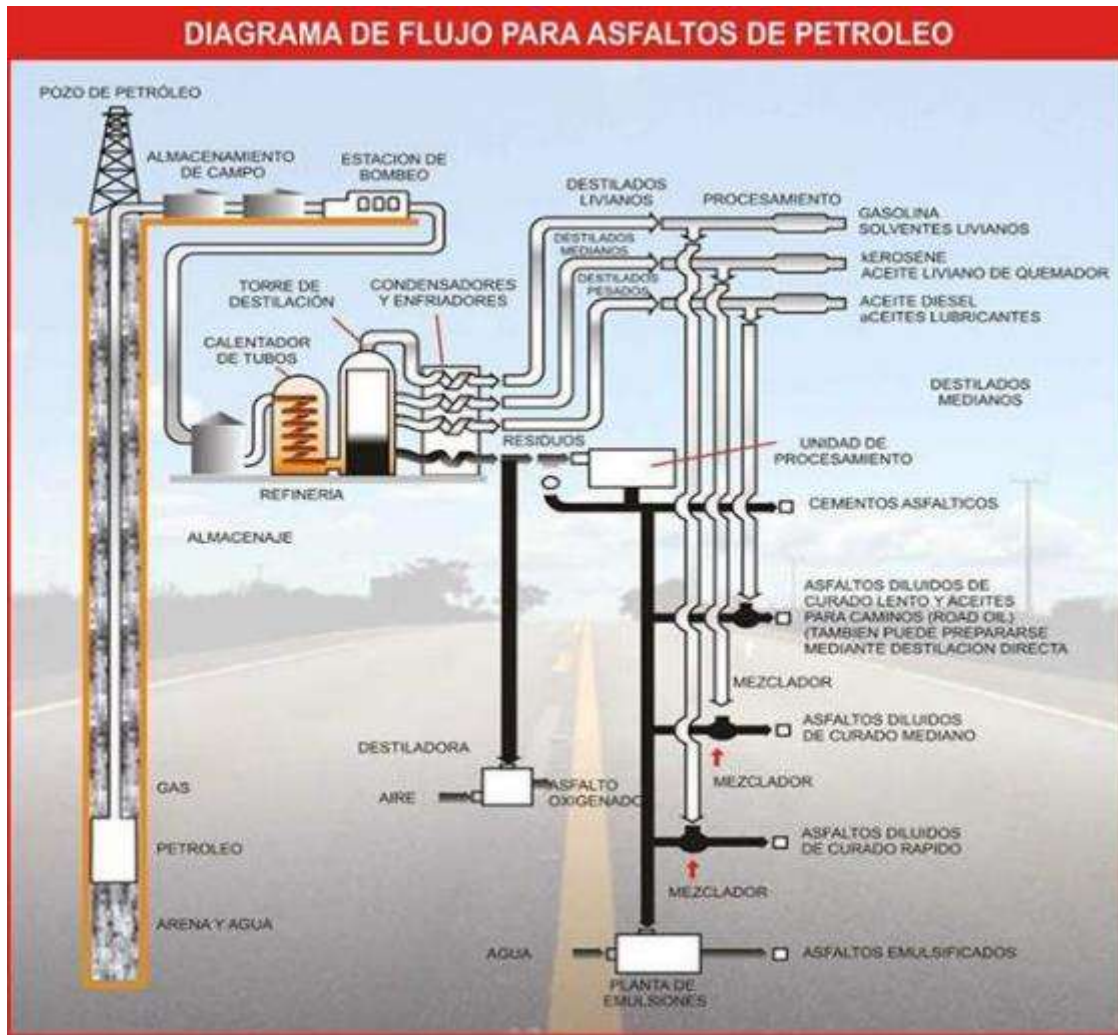
Fuente: Provias. (2018)

2.4 Producción del asfalto

La planta mezcladora de tambor es ubicada en la zona central del local de producción, el cual se encuentra nivelado, ordenado y limpio. Posee un acceso de ingreso y salida para las unidades motoras, señalado con elementos verticales, para evitar el congestionamiento y posibles accidentes durante el ciclo de producción. (Cespedes, 2019, p. 30).

Los materiales se encuentran apilados cerca de la tolva de agregados y fuera del área destinada al tránsito de las unidades de transporte, para evitar obstruir el paso de los mismos hacia la planta mezcladora. El retiro y almacenamiento de los agregados debe realizarse de manera ordenada. Se inspecciona que el material recepcionado sea de buena calidad, no se encuentre contaminado y cumpla con las especificaciones de granulometría adecuado (p. 30).

Figura 6 Proceso de producción de asfalto



Fuente: tics Perú (2017)

2.5 Composición química del asfalto

El asfalto está compuesto por los siguientes elementos:

Tabla 1

Componentes del asfalto

Elemento	Concentración
Carbono	82-88 (%)
Hidrogeno	8-11 (%)
Azufre	0-6 (%)
Oxigeno	0-1,5 (%)
Nitrógeno	0-1(%)

Son por estos elementos que está constituido el asfalto.

2.6. Propiedades físicas del asfalto

Las propiedades físicas son de mayor calidad, ya que influye para un diseño, construcción y manteniendo del pavimento, entre ellos tenemos.

- **Durabilidad**

(Fajardo Cachay, y otros, 2014 pág. 11). Es el régimen de qué cantidad puede contener un asfalto sus tipos originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. La durabilidad puede presentar fallas, ya que para poder determinar este comportamiento influye todo el proceso constructivo del pavimento, desde el diseño de mezclas, las características del agregado la mano de obra en la ejecución de la carretera, entre otras variables que intervienen.

- **Adhesión y cohesión**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado. El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica”, y solo

puede indicar si la muestra es, o no, lo suficientemente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos. [Asphalt Institute; 1992].

▪ **Susceptibilidad a la temperatura**

(Fajardo Cachay, y otros, 2014 pág. 11). La importancia de la temperatura en el asfalto es que a mayor temperatura es menos viscoso y a menor temperatura es más viscoso por ello se le denomina susceptibilidad a la temperatura.

Por lo tanto, el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir a los agregados durante todo el proceso de mezclado y así poder tener mejor trabajabilidad durante todo el compactado del asfalto.

Después por sí mismo deberá volverse suficientemente viscoso, pero ya a temperatura de ambiente para que el material este bien y pueda prestar el mejor servicio.

Tabla 2

Grados de asfalto recomendado para diferentes condiciones de temperatura.

Condición de Temperatura	Grado de Asfalto
Fío, temperatura media anual del aire ≤ 7 °C	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7 °C y 24 °C	PEN 85/100, 60/70
Caliente, temperatura media anual del aire ≥ 24 °C	PEN 60/70/, 40/50

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones 2010 Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.

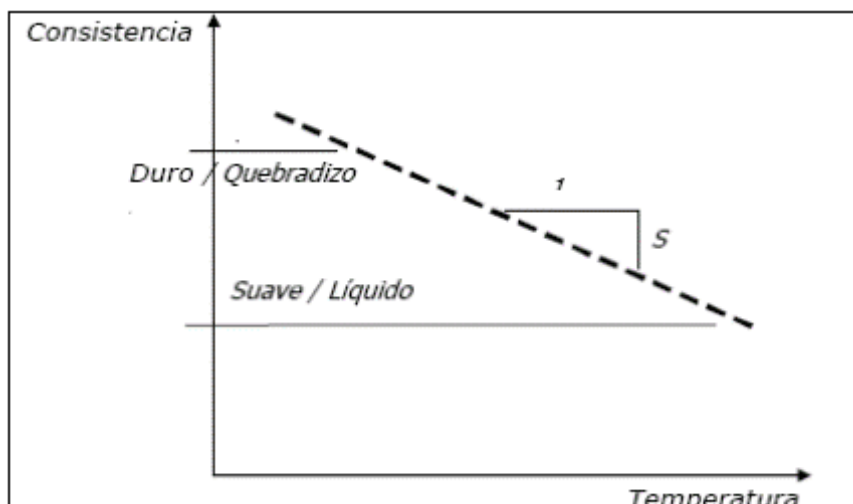


Figura 7 Consistencia vs temperatura

Fuente: Revista constructiva junio (2016)

- **Endurecimiento y envejecimiento.**

Los asfaltos tienden a endurecerse aumentando sus características de consistencia en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado). En el proceso de elaboración de la mezcla el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras se encuentra en el tambor mezclador. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Horno rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento. (Salamanca, 2007)

- **Caracterización por viscosidad**

Se recomienda que la cantidad de muestra necesaria para la realización de las

pruebas es un galón de asfalto (3,79 Litros), pese a que los ensayos podrían realizarse con muestras de menor tamaño. Adicionalmente es recomendable contar con una muestra testigo en caso de requerir verificar posteriormente alguna propiedad. El principio fundamental de la caracterización por grado de viscosidad es determinar la viscosidad absoluta a 60 °C y asignar como resultado o consistencia obtenida el grado AC correspondiente, para luego verificar los demás requisitos para este grado AC (por ejemplo, AC30) en el resto de ensayos especificados. (Salazar, 2011, p. 26).

- **Caracterización por comportamiento**

Este marco fue elaborado por el US Asphalt Institute y propuesto en el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP), a pesar de que también está incorporado en ASTM D- 6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento). Más extrema y menor del asfalto en capacidad de la temperatura del aire y el alcance geológico.

2.7 Proceso de modificación de asfalto

Las mezclas son menos susceptibles a las altas y bajas temperaturas y se 'fatigan' menos que las carreteras convencionales". En realidad, se puede observar que existen dos métodos por la cual se puede usar el polvo de neumático como material asfáltico las cuales son.

- **Por Vía Seca**

(Fajardo Cachay, y otros, 2014 págs. 62-63). El triturado del neumático se emplea reemplazando una fracción de agregado fino. Por otra parte, involucra en incorporar bien directamente al mezclador la cantidad exacta para cada mezcla (planta

discontinua) o bien mezclarlo previamente con algún componente pétreo de la mezcla antes de la fabricación (planta continua). (Revista constructivo, 2010).

En donde el caucho es incorporado directamente en la mezcla asfáltica en caliente siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionarle el cemento asfáltico. Por lo general el caucho es incorporado como una parte de los agregados finos el cual se encuentra de 1-3% del peso total de los agregados de la mezcla.

- **Por Vía Húmeda**

(Fajardo Cachay, y otros, 2014 págs. 59-60). Consiste en la fabricación de un ligante modificado (betún-caucho) en donde la adición de partículas de caucho de neumático reciclado a un betún convencional, entre ciertos parámetros de mezclado.

La manera convencional de preparar el agregado modificado con caucho se realizó en España, es un proceso que no necesita mucha cantidad de cemento asfáltico, pero que si aportan menos cantidad de caucho un promedio del 1% del peso de los agregados de la mezcla.

Figura 8 Proceso de preparación de una mezcla asfáltica



Fuente: Revista constructiva (2015)

Recomendación a los países que deben reducir las emisiones de gases que causan el calentamiento global, entre ellas el dióxido de carbono (co2) en un aproximado al menos de un -5%. Por tanto, otras propiedades que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son:

- Mayor plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mejora de la respuesta elástica.
- Mayor resistencia a la acción del agua.

2.8 Ensayos en el diseño de asfaltos.

Definición

La mezcla asfáltica está compuesta por agregados y el asfalto lo cual deben de ser seleccionados y evaluados independiente mente y ya luego como un todo.

Ensayo a los agregados

Es el ensayo que se realiza a los agregados para verificar los requisitos de calidad y las verificaciones técnicas de resistencia y durabilidad. Teniendo como base las normas técnicas peruanas, el ASTM Y EL AASHTO. Estos ensayos que se realizan son: Tabla 423-01 del EG.

Tabla 3

Requerimiento para los agregados gruesos.

Ensayo	Norma
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422, MTC E 204.
Durabilidad al sulfato de magnesio	ASTM C-88, MTC E209
Abrasión los ángeles	ASTM C-131, MTC E207
Adherencia	ASTM D-1664, MTC E517, 519
Índice de durabilidad	ASTM C-3744, MTC E214
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791
Caras fracturadas	ASTM D-5821, MTC E210
Absorción	ASTM C-127, MTC E206

Fuente: Manual de carretera especificaciones técnicas

➤ ENSAYO DE DURABILIDAD (INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DEL SULFATO O MEGNESIO) ASTM C-88 – MTC E 209

Es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de

magnesio. Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en una solución de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase de secado, las sales precipitan en los vacíos del agregado. En la reinmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión- secado de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

➤ **ENSAYO DE ABRASION POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
ASTM C-131, ASTM C-535, AASHTO T-96, MTC E 207**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo-deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles, ASTM C-131 ó AASHTO T-96 y ASTM C-535, MTC E207, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

También se está usando el ensayo de abrasión para calificar la calidad de piedras, y bloques de roca para obras de defensa ribereña, etc. para lo cual se deberá someter primero a un proceso de chancado a fin de tener la muestra de ensayo de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

➤ **ENSAYO DE ADHERENCIA DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS GRUESOS ASTM D-1664 - MTC E 517**

Esta prueba asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y el carácter de material arcilloso que puede ser generado en un agregado cuando se somete a degradación mecánica. Los resultados de este procedimiento se han correlacionado con un rendimiento global en aplicaciones de construcción diferentes, entre ellas: la base de agregado, material permeable para el relleno, agregado fino de hormigón, y escollera de protección de taludes en roca.

Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un agregado, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.

Este método de ensayo proporciona una prueba de diagnóstico rápido para la evaluación de la calidad de una fuente de agregado. Las investigaciones han indicado que puede también usarse, en cambio del ensayo de durabilidad frente a la acción de una solución de sulfato de sodio, para evaluar la durabilidad del agregado fino de uso en el concreto, reduciendo así el consumo de tiempo y los costos incurridos en el ensayo de durabilidad. Aunque la aplicación de este método ha sido limitada a los agregados de construcción para usos específicos, Existe la posibilidad de expansión de la aplicación de este método para controlar la calidad de los agregados utilizados en otras áreas de construcción, tales como agregados para uso de mezclas bituminosas de pavimentación, agregado grueso para estructuras de hormigón de cemento portland, y el agregado para el uso del ferrocarril de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

➤ **PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO ASTM C-3744 / MTC E 214**

Este método de ensayo cubre la determinación de un índice de durabilidad, índice de agregados, el índice de durabilidad de un agregado calcula un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos como la arcilla, cuando se somete a los métodos de degradación mecánicos de degradación que se describen.

Esta prueba asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y el carácter de material arcilloso que puede ser generado en un agregado cuando se somete a degradación mecánica.

Los resultados de este procedimiento se han correlacionado con un rendimiento global en aplicaciones de construcción diferentes, entre ellas: la base de agregado, material

permeable para el relleno, agregado fino de hormigón, y escollera de protección de taludes en roca.

Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un agregado, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.

Este método de ensayo proporciona una prueba de diagnóstico rápido para la evaluación de la calidad de una fuente de agregado. Las investigaciones han indicado que puede también usarse, en cambio del ensayo de durabilidad frente a la acción de una solución de sulfato de sodio, para evaluar la durabilidad del agregado fino de uso en el concreto, reduciendo así el consumo de tiempo y los costos incurridos en el ensayo de durabilidad. Aunque la aplicación de este método ha sido limitada a los agregados de construcción para usos específicos, Existe la posibilidad de expansión de la aplicación de este método para controlar la calidad de los agregados utilizados en otras áreas de construcción, tales como agregados para uso de mezclas bituminosas de pavimentación, agregado grueso para estructuras de hormigón de cemento portland de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

➤ **PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS ASTM D-5821 / MTC E 210**

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

➤ **GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS MTC E 206 / ASTM C 127**

Este ensayo tiene como objetivo establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

Tabla 4

Agregados finos

Ensayos	Norma
Equivalente de arena	ASTM D-2419, MTC E 114
Adhesividad (riedel weber)	MTC E 220
índice de plasticidad (malla n° 40)	ASTM D-4318, MTC E 211
índice de durabilidad	ASTM C-3744, MTC E 214
índice de plasticidad (malla n° 200)	ASTM D-4318, MTC E 211
Absorción	MTC E 205

Fuente: Manual de carretera especificaciones técnicas

Ensayo al asfalto

Es el ensayo que se realiza al asfalto para ver el cumplimiento de las propiedades de diseño de la mezcla asfáltica.

Estos ensayos que se realizan son:

- Clasificación por viscosidad a 60° C.
- Clasificación por penetración a 25° C.

Tabla 5

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración 60-70.

TIPO		GRADO DE PENETRACIÓN	
Grado	ensayo	pen 60 - 70	
		Min.	Máx.
Pruebas sobre el Material Bituminoso			
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	60	70
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99.0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) (1)	MTC E 304	-1	+1
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h			
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0.8

Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	52+
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm (3)	MTC E 306	50

Fuente: Manual de carretera especificaciones técnicas

Ensayo a la mezcla asfáltica

Es el ensayo que se realiza ya a la combinación de los agregados y el asfalto en su totalidad. Estos ensayos que se realizan son:

Tabla 6

Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de diseño	Clases de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0.6- 1.3	0.6- 1.3	0.6- 1.3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700- 4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min.		

Fuente: Manual de carretera especificaciones técnicas

Periodo de diseño

El período de diseño es la vida teórica del pavimento antes que requiera una rehabilitación mayor o una reconstrucción. No representa necesariamente la vida real del pavimento, la cual puede ser de lejos mayor que la de diseño, o más corta

debido a incrementos no previstos en el tráfico. Las tablas de diseño de esta metodología asumen una vida de diseño de 30 años. Para períodos de diseño diferentes a 30 años, se puede ajustar el ADTT. Por ejemplo, si se desea un período de diseño de 20 años en lugar de 30 años, el valor del ADTT estimado se multiplica por un factor de 20/30. (Edificaciones, 2010).

Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, a un costo razonable.

Generalmente el periodo de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento, por lo tanto, éste será superior a 20 años. Los periodos de diseño recomendados por la AASHTO se muestran en la tabla 6. (Universidad San Simón, 2004)

Tabla 7

Periodo de diseño en función del tiempo de carretera.

Tipo de carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de transito elevado.	30 - 50
Interurbana de tránsito elevado.	20 - 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito.	15 - 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava.	10 -20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El caucho de reciclaje

(Fajardo Cachay, y otros, 2014 pág. 54). La reutilización de neumáticos es de amplio uso y difusión en algunos países que poseen normativas ambientales claras y eficientes. El caucho es una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*.

En un principio las utilidades de esta materia prima. Fue el comerciante de ferretería Charles Goodyear (1800-1860) quien descubrió que mezclando con el azufre y calentándolo, se evitaba que fuesen tan pegajoso cuando está caliente y tan rígido cuando enfriaba. La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados constituye uno de los problemas medioambientales, más graves en los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar el neumático de un camión) Propiedades físicas de un neumático (Fajardo Cachay, y otros, 2014 pág. 52). En estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro, Las propiedades físicas del caucho bruto (nos referimos al caucho sin vulcanizar) varían con la temperatura. A $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente y en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. De $0\text{ a }10\text{ }^{\circ}\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se vuelve blando, flexible y

translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de 50 °C, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso.

Propiedades químicas

(Fajardo Cachay, y otros, 2014 pág. 52). La estructura de los cauchos naturales está formada por cis-1,4 polisopreno mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales orgánicas entre otros. Se encuentra así un polímero de cadena larga y enredada en forma de espiral, de peso molecular medio, 5x10⁵ g/mol. Esta cadena se complementa con otro isómero estructural, la gutapercha (isómero trans).

ELEMENTO	COMPOSICIÓN
Carbono (C)	70%
Hidrogeno (H)	7%
Azufre (S)	1..3%
Cloro (Cl)	0,2-0, 6%
Hierro (Fe)	15%
Oxido de Zinc (ZnO)	2%
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5%
Cromo (Cr)	97 ppm
Níquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio	5-10 ppm
Talio	0,2-0,3 ppm

Figura 9 Composición de las llantas

Fuente: Carrión L. (2016)



Figura 10 Principales países que exportan el caucho

Fuente: inversión finanzas

2.7 El caucho y su aplicación en el pavimento

Proceso por vía seca

En el proceso por vía seca la cantidad requerida de ligante tiende a aumentar, también se requiere un proceso especial para adicionar el GCR en planta, y un mayor tiempo de compactación en obra; el proceso por vía húmeda requiere un equipo adicional en planta para el mezclado y almacenamiento del asfalto-caucho, así como cambio de bombas y tuberías, adicionalmente requiere mayor energía para calentar la mezcla a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados. El GCR se obtiene por trituración mecánica o molienda de llantas desechadas, y debe ser de contextura fina de tamaños menores a 6.3 mm (1/4”). Este posee valiosos componentes que pueden contribuir al buen desempeño del asfalto como lo son el negro de humo que es un antioxidante, las aminas, los aceites aromáticos, y los elastómeros SBS y SBR. (Ramírez, Ladino y Rosas, 2014, p.16).

En este proceso el GCR es mezclado con el ligante para producir una mezcla asfalto caucho, la cual es usada de la misma manera que un ligante modificado. La proporción del

GCR normalmente se encuentra entre el 14% y el 20%, dependiendo del ligante, por peso del total de la mezcla asfalto-caucho. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el ligante hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, no siendo esta una reacción de tipo química. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran el tamaño y textura del GCR, la proporción y tipo del cemento asfáltico, el tiempo y temperatura de mezclado, el grado de agitación mecánica durante la reacción. El cemento asfáltico modificado con GCR mediante el proceso húmedo ha sido usado ampliamente como ligante en la reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, membranas retardantes de fisuras, y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente de la mezcla. (p. 17).



Figura 11 Caucho triturado

Fuente: Elaboración propia

2.8 Hule molido de llantas

Es un desecho biodegradable donde es un problema mundial debido a que anualmente se desechan toneladas de llantas en desuso, en la actualidad las llantas

que terminan su periodo de uso, son utilizados para rellenos sanitarios. Creando así grandes problemas ambientales.

Composición y características	Autos camionetas	Camiones buses
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo 28 %	28%	28%
Acero	14 - 15 %	14 - 15 %
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes	16 - 17 %	16 - 17 %
Peso promedio	8.6 kg	45.5 kg
Volúmen	0.06 m ³	0.36 m ³

Figura 12 Componente de las llantas

Fuente: Rubber Manufacturers Association

2.9 Asfalto modificado con polvo de caucho

Este tipo de asfalto es rentable ya que, el costo para la producción de asfalto es mucho más económico a diferencia del asfalto convencional, es por ello que se recomienda implementar estos nuevos diseños modificados de asfalto con caucho, para mejor la resistencia y disminuir las fallas en una vía y a su vez, el ahorro que se muestra en las partidas de mantenimiento disminuye, además por su estructura el tiempo de vida es prolongado llegando a durar hasta 20 años. (p.26).

2.10 Carreteras ecológicas o amigables

Se debe recordar que los países de gran envergadura son los que iniciaron a ver las principales ventajas que ofrecían un asfalto modificado con la incorporación de neumáticos reciclados o llantas usadas por ello Europa y Estados Unidos son los países que inician a evaluar las propiedades que ofrece el asfalto modificado con caucho.

En todos los países se desechan miles de toneladas de neumáticos que ya no se usan y por tanto este material genera problemas ambientales, la mayoría estas llantas son quemados o combustionados.

Y la quema de neumáticos, transmite un impacto negativo de emisión de CO₂ lo cual genera contaminación y deteriora la capa de ozono. (Fajardo Cachay, y otros, 2014, p. 54).

Al incorporar el polvo de caucho obtenido de las llantas el material ofrece una carretera con mayor seguridad de las vías y un asfalto con mayor adherencia.



Figura 13 Selección de caucho

Fuente: Castro G. (2018)

Se observa que una tonelada de mezcla bituminosa incorpora aproximadamente tres neumáticos de un auto aportando un 2% de la mezcla, las ventajas que ofrece el caucho en una mezcla asfáltica son:

- Resistencia mejorada a las fisuras reflejadas
- Mayor vida a fatiga,
- Menos ruidosas,
- Más duraderas hasta 20 años
- Mayor Seguridad Vial (visibilidad y adherencia).

3 Principales fallas en los pavimentos flexibles

Estando en funcionamiento, una obra se descompone paso a paso y muestra diversos estados de servicios a lo largo de los años. Los debilitamientos podrían ser poco en el primer lugar, sin embargo, se intensifican con la progresión del tiempo hasta que son impresionantes acelerando la falla de la vía, de esta manera, una obra requiere mantenimiento o conservación, de para garantizar su vida Útil y dar un servicio satisfactorio.

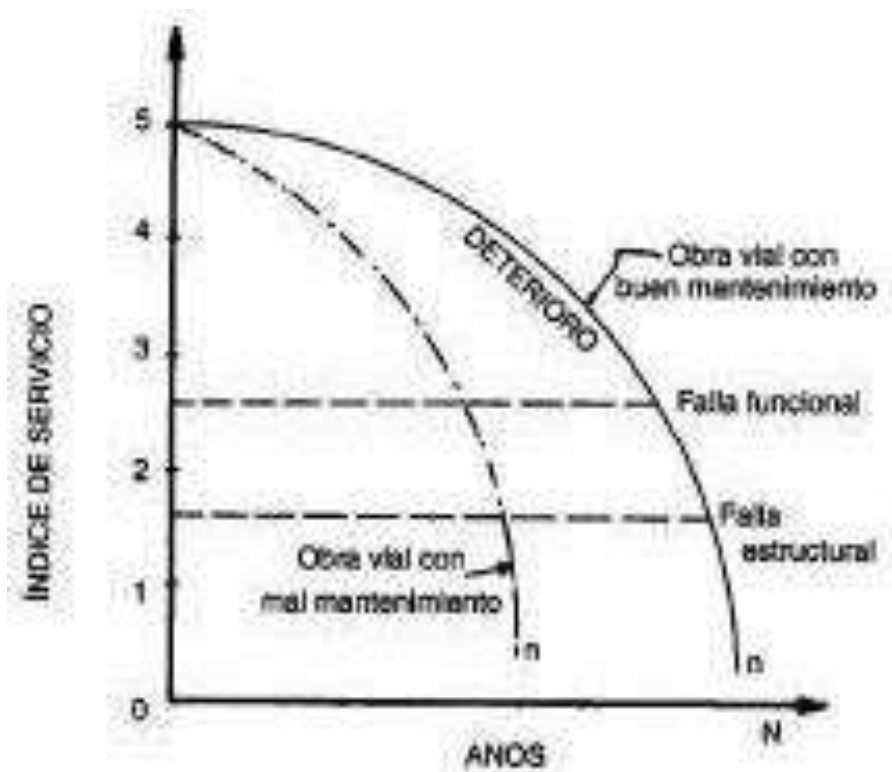


Figura 14. Esquema donde se puede observar las fallas en el pavimento

Fuente: Morales W. (2015)

3.7.1 Sensación de calaveras

Se le llama calaveras a los huecos que ocurren en la superficie de rodamiento, las cuales pueden llegar a ser de máximo 15 cm. Esto se da debido a que la base no se realizó de forma adecuada o por la poca colocación de asfalto; o al

colocar asfalto sobre partes ya dañadas. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 p. 137).



Figura 15 Presencia de fallas calavera

Fuente: Ricardo miranda

3.7.2 Ches

Se dan por la desintegración de la carpeta asfáltica y por la inadecuada colocación de los materiales de las capas inferiores. También por la mala e inadecuada intervención de grietas existentes. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 p. 151).



Figura 16 Presencia de baches en las vías

Fuente: Ricardo miranda.

3.7.3 Ondulaciones

Es la falla caracterizada en ondas, en la superficie de la vía, por lo general son menores a 1 metro entre crestas, las posibles causas son una mala dosificación de asfalto, la pérdida de estabilidad de la mezcla, uso de agregados ondulados o también un exceso de humedad en la subrasante. (Villagaray, 2017, p.32).



Figura 17 Ondulación en la vía

Fuente: Miranda. T. (2017)

3.7.4 Grietas longitudinales

Fracturamiento de la carpeta asfáltica, esta falla ocurre paralelamente al eje de la carretera dividiendo la misma en dos planos. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 p. 139- 141).



Figura 18 Fallas longitudinales

Fuente: Miranda. T. (2017)

3.7.5 Grietas transversales

Son las fallas que están perpendicular al eje del pavimento dividiendo la misma en dos planos, las posibles causas excesiva repetición de cargas pesadas (fatiga) y también excesiva relación longitudinal o ancho de la losa. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 p. 153- 154).



Figura 19 Fallas transversales

Fuente: Miranda. T. (2017)

3.7.6 Agrietamiento piel de cocodrilo

Fisuras en la carpeta asfáltica formando polígonos gasta de 20 centímetros de amplitud todo el conjunto se asemeja a la piel de cocodrilo, las posibles causas ineficiente soporte en la base de la estructura del pavimento. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 p. 137-139).



Figura 20. Falla piel de cocodrilo

Fuente: Miranda R. (2017)

3.8 Justificación

En la actualidad en diversos países como son España, Italia, Francia, etc.; existen experiencias del uso de mezclas asfálticas incorporadas con polvo de caucho, sin embargo, en el Perú se tiene escasa o nula experiencia del uso de este tipo de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho, esta mezcla asfáltica favorece y mejora el comportamiento mecánico, consecuentemente tendrá mayor durabilidad que la mezcla asfáltica convencional usada en nuestras carreteras.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (2014) indica las ventajas, beneficios y efectos que se puede conseguir con el empleo de las mezclas asfálticas incorporadas con polvo de caucho, sobresalen las siguientes características: mayor resistencia a los ahuellamientos, menor susceptibilidad a la temperatura, mayor resistencia al agrietamiento, mayor resistencia al envejecimiento, entre otras, con lo cual se consigue mejorar las características de las mezclas, con la consiguiente reducción de costos de mantenimiento y de interrupción de tráfico por reparaciones en el pavimento.

Justificación Académica: El proyecto de tesis se justifica académicamente porque permitirá aplicar nuevos procedimientos y metodologías para realizar el diseño de una estructura de pavimento.

Justificación Técnica: El presente proyecto está basado en la norma americana ASTM D-6114-97 que da a conocer las especificaciones para asfaltos modificados con polvo de llanta.

Justificación social: El proyecto se justifica socialmente porque proporcionará una alternativa de solución adecuada para afrontar el problema del tiempo de vida y el mantenimiento de los pavimentos.

En función a los resultados obtenidos en otros países, es necesario realizar investigaciones en nuestro país que permitan mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional. Es por ello, que esta investigación pretende contribuir en la mejora del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional y por otra parte la disminución de la contaminación ambiental, a partir de la incorporación del polvo de caucho a la mezcla asfáltica convencional.

1.1. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia mecánica del polvo de caucho procedente de neumáticos en la pavimentación de carreteras?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia del polvo de caucho procedente de neumáticos en la pavimentación de carreteras respecto al comportamiento mecánico sobre la mezcla asfáltica convencional.

1.2.2. Objetivos específicos

OE1: Determinar los beneficios sostenibles que presenta el polvo de caucho procedente de los neumáticos en la pavimentación de carreteras.

OE2: Determinar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas a las cuales se les ha incorporado polvo de caucho procedente de neumáticos.

OE3: Determinar la influencia en el costo de mezcla asfáltica a la cual se le incorporo polvo de caucho procedente de neumáticos.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

Si existe una influencia del polvo de caucho procedente de neumáticos en la pavimentación de carreteras respecto al comportamiento mecánico sobre la mezcla asfáltica convencional.

1.3.2. Hipótesis específicas

HE1: Si existen beneficios sostenibles dados por el polvo de caucho procedente de los neumáticos en la pavimentación de carreteras.

HE2: Si existe un comportamiento mecánico adecuado de las mezclas asfálticas a las cuales se les ha incorporado polvo de caucho procedente de neumáticos.

HE3: Si existe una influencia en la variación de costo de mezcla asfáltica a la cual se le incorporo polvo de caucho procedente de neumáticos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El diseño de investigación del presente trabajo posee un enfoque experimental:

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente).

Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. (Murillo, s.f, p. 5).

La investigación cuantitativa frecuentemente cuantifica relaciones entre variables - la variable independiente o predictiva y la variable dependiente o resultado. De forma general, diseños de investigación cuantitativa son clasificados tanto como no experimentales como experimentales (Sousa, Driessnack y Costa, 2007, p.15).

Tipo de investigación

El presente proyecto tiene un tipo de investigación de tipo Aplicada.

El proyecto se interesa en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta. Busca conocer para hacer, para actuar, para modificar. Transforma los conocimientos científicos en tecnología.

Nivel de investigación: Investigación explicativa:

La investigación explicativa se orienta a establecer las causas que originan un fenómeno determinado. Se trata de un tipo de investigación cuantitativa que descubre el por qué y el para qué de un fenómeno. (Yanez, s.f).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).

Población:

La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Es necesario aclarar que cuando se habla de población de estudio, el término no se refiere exclusivamente a seres humanos, sino que también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc.; para estos últimos, podría ser más adecuado utilizar un término análogo, como universo de estudio. (Arias, Villasis, Miranda, 2016, p. 202).

Muestra

La muestra, es un subgrupo de la población, donde reúne todas las características y propiedades de la misma, es representativa; de la cual se obtienen conclusiones semejantes y de relevancia en relación al problema inicial planteado. Los procedimientos adecuados del muestreo permitirán la correlación de los respectivos datos con propiedades de la muestra.

La muestra está representada por el número de especímenes preparados para realizar los ensayos de laboratorio conforme al diseño experimental planteado. Las muestras de esta investigación serán: Los testigos para el diseño de mezcla asfáltica a la cual se le incorporo polvo de caucho procedente de neumáticos analizado por el método Marshall.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas:

La técnica a emplear es la observación, se tuvo en consideración la ejecución previa de ensayos de caracterización de los agregados y cemento asfáltico de acuerdo al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-

2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013) donde se inició de un diseño de mezcla convencional con el fin de comparar las propiedades de esta mezcla al añadirle diferentes porcentajes de polvo de caucho, previamente se realizó los ensayos de Inmersión compresión para determinar la temperatura y tiempo de digestión de la mezcla, seguidamente se ejecutó el ensayo Marshall para la determinación de los parámetros de comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica (estabilidad, fluidez, densidad, vicios de la mezcla, y vacíos del agregado mineral) con y sin caucho, con el cual se determina el porcentaje óptimo de asfalto y polvo caucho para el diseño. Con los diseños óptimos de mezclas, se procederá a evaluar su comportamiento mediante los ensayos de caracterización y desempeño: Resistencia a la Compresión Diametral, Cántabro, Efecto de la Humedad en Mezclas Asfálticas (Tracción Indirecta), Módulo Resiliente y Ahuellamiento por medio de la Rueda de Hamburgo.

Instrumentos.

El instrumento de recolección de datos fue las fichas para recolección de datos primarios, donde los datos a tomar en cuenta ya están establecidos por las normas nacionales e internacionales, donde se registrará los resultados de los ensayos que se realizaran para caracterizar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas.

Recolección de datos

Análisis estadísticos: Análisis ligado a la hipótesis: cada una de las hipótesis formuladas debe ser objeto de verificación, en algunos casos se emplea la estadística inferencial.

2.4. Procedimiento

En este capítulo, se aborda el desarrollo del presente trabajo de investigación, donde los procedimientos, los ensayos realizados, las características de los materiales utilizados, los criterios de selección de las mezclas asfálticas y sus correspondientes resultados son desarrollados mediante los siguientes documentos técnicos: Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013), Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22 (Instituto del Asfalto, 1982), Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016), Normas de Ensayo de Carreteras, ASTM, ASSHTO, MTC y UNE.

Para realizar el estudio de la incorporación de polvo de caucho mediante proceso por vía seca, es necesario partir de una mezcla asfáltica convencional, con el propósito de comparar la variación del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica al añadirle diferentes porcentajes de polvo de caucho. En este caso, la mezcla convencional cumple con los requisitos y características de acuerdo al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

2.4.1. Materiales

Cemento asfáltico

El Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG- 2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013) clasifica a los cementos asfálticos según el Grado de Viscosidad Absoluta medida a 60° C y según el Grado de Penetración en base a la dureza o consistencia que es medida mediante el ensayo de penetración.

Teniendo en cuenta que el desarrollo de esta investigación se realizó en la ciudad de Lima, la selección del tipo de cemento asfáltico fue realizado de acuerdo con la Tabla 2.11 basada en la EG-2013, donde para la temperatura media anual entre 15°C a 24°C y/o mayor a 24°C, se orienta emplear el cemento asfáltico de grado de penetración PEN 60- 70.

A continuación, en la Tabla 6 se muestran los resultados del ensayo de caracterización realizado al cemento asfáltico PEN 60-70, obtenidos del certificado de calidad proporcionados por el proveedor.

Tabla 8

Resultados del ensayo de caracterización del cemento asfáltico PEN 60-70.

<i>Ensayos</i>	<i>Método ASTM/MTC</i>	<i>Unidades</i>	Especificaciones		Resultado
			<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
Penetración	D-5 / E304	dmm	60	70	63
Punto de inflamación	D-92 / E312	°C	232	-	296
Gravedad específica	D-70		Reportar		1.024
Ductilidad	D-113 / E306	cm	100	-	> 105
Solubilidad en tricloroetileno	D-2042 /	%	99	-	99.94
Viscosidad cinemática	D-2170	cSt	200	-	500
Efecto de calor y aire	D-1754		Mínimo	Máximo	
Perdida por calentamiento	D-1754	%	-	0.8	0.130
Penetración Retenida	D-5 / E304		52	-	74.1
Ductilidad	D-113 / E306	cm	50	-	96.5
Índice de penetración	E-304		-1	1	-0.3
Adherencia	D-3625		Mínimo	Máximo	
Revestimiento y desprendimiento	D-3625	%	>95	-	> 95

Fuente: Elaboración propia

Agregados

El material empleado en la mezcla tiene características adecuadas de dureza, textura, limpieza; producto de la trituración, agregados gruesos chancados, arena chancada cuyos finos son limpios no plásticos, condiciones que benefician la performance de la mezcla asfáltica.

En la etapa de producción de materiales, los agregados serán separados en 3 fracciones que son las siguientes:

Agregado Grueso TM 3/4" (ver Tabla 2.2 y Figura 2.1).

Agregado Fino TM 1/4" (ver Tabla 2.3 y Figura 2.2).

Tabla 9

Agregado grueso TM 3/4 - Gradación.

Muestra	Tamaño Máximo	Análisis Granulométrico - porcentajes que pasan tamiz									
		3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
M-01		100.0	87.3	71.6	14.3	0.5	0.1	0	0	0	0
M-02		100.0	87.0	72.1	13.9	0.4	0.1	0	0	0	0
M-03	3/4"	100.0	85.5	71.8	14.1	0.6	0.2	0	0	0	0
M-04		100.0	88.4	72	14.3	0.5	0	0	0	0	0
Promedio		100.0	87.1	71.9	14.2	0.5	0.1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia



Figura 21 Agregado Grueso TM 3/4"

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Agregado Fino - Gradación

<i>Muestra</i>	<i>Tamaño Máximo</i>	<i>Análisis Granulométrico - porcentajes que pasan tamiz</i>							
		<i>1/4"</i>	<i>N°4</i>	<i>N°8</i>	<i>N°16</i>	<i>N°30</i>	<i>N°50</i>	<i>N°100</i>	<i>N°200</i>
M-01		100.0	98.1	69.6	45.2	30.4	20.5	14.0	11.3
M-02		100.0	98.4	69.4	45	31.3	20.8	15.3	11
M-03	1/4"	100.0	98.5	69.6	44.9	30.9	20.2	14.1	10.3
M-04		100.0	98.2	69.1	43.5	30.0	20.6	14.5	10.6
Promedio		100.0	98.3	69.4	44.7	30.7	20.5	14.5	10.8

Fuente: Elaboración propia



Figura 22 Agregado Fino

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las gradaciones de los 2 tipos de agregados en la etapa de producción.

Combinación de agregados

La combinación de agregados diseñada, tiene como finalidad resistir la deformación permanente (el cual es una de las fallas más importantes en el comportamiento de los pavimentos asfálticos), es por ello que se optó por escoger el huso granulométrico de TMN 1/2" de la ASTM D-3515 (es una alternativa de la EG- 2013) que se diferencia de otras gradaciones por su "esencia gruesa y robusta", con una mayor presencia de grava que provee un esqueleto mineral fuerte y resistente, con alta fricción interna.

T

Tabla 11

Porcentaje de combinación de agregados.

Agregados	Porcentaje
Agregado grueso TM 3/4"	48 %
Agregado fino TM 1/4"	52 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Gradación combinada dentro de uso granulométrico de ASTM D 3515.

ASTM	Tamiz mm	Porcentaje que Pasa, %		
		Uso granulométrico ASTM D3515		Combinación Agregados
3/4"	19.050	100	100	100.0
1/2"	12.700	90	100	93.8
3/8"	9.525	0	0	86.5
N° 4	4.760	44	74	57.9
N° 8	2.380	28	58	36.3
N° 16	1.190	0	0	23.3
N° 30	0.590	0	0	16.0
N° 50	0.297	5	21	10.7
N° 100	0.149	0	0	7.6
N° 200	0.074	2	10	5.7

Fuente: Elaboración propia

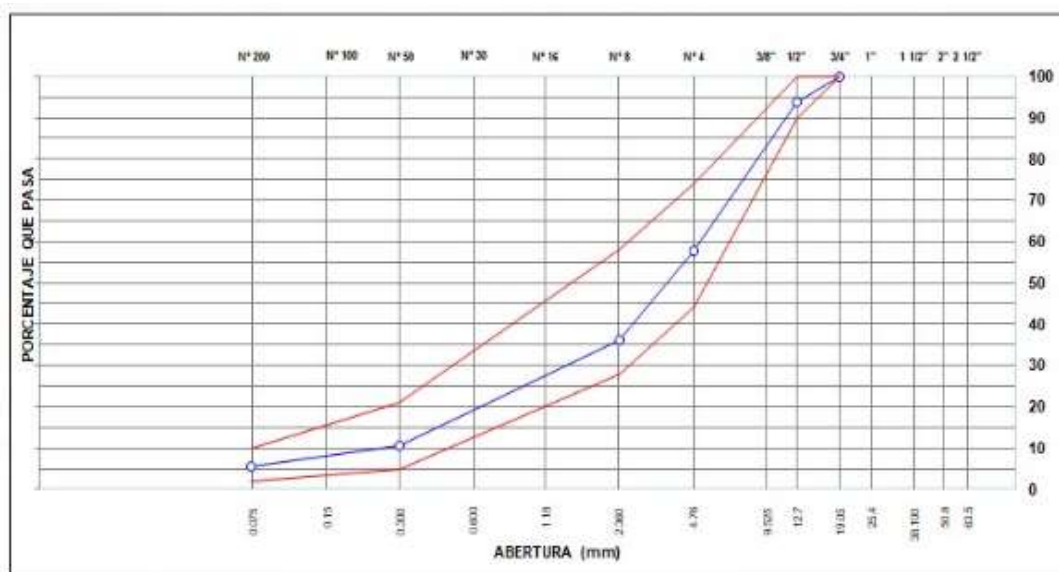


Figura 23 Gradación combinada. (Referencial)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 11 y Tabla 12 se presentan las características físicas de la combinación de agregados, los cuales cumplen los requerimientos indicados en la EG-2013, a acepción de la absorción.

Tabla 13

Características físicas del agregado grueso.

Ensayo	Norma MTC	Resultado	Requerimiento	Criterio De Aceptación
Durabilidad (Sulfato de magnesio)	MTC E 209	3.2	18% máx.	Cumple
Abrasión	MTC E 207	7.5	40% máx.	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	69.34	35% min.	Cumple
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 211	0.6	10% máx.	Cumple
Caras Fracturadas	MTC E 210	100	85 / 100	Cumple
Sales Solubles	MTC E 219	0.14	0.5% máx.	Cumple
Adherencia	MTC E 517	95	> 95	Cumple
Absorción (*)	MTC E 206	0.94	1.0% máx.	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Características físicas del agregado fino.

Ensayo	Norma MTC	Resultado	Requerimiento	Criterio De Aceptación
Equivalente de Arena	MTC E 114	66	60% min.	Cumple
Angularidad	MTC E 222	41.4	30% min.	Cumple
Índice de Plasticidad (Malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	58	35% min.	Cumple
Índice de Plasticidad (Malla N° 200)	MTC E 111	NP	4% máx.	Cumple
Sales Solubles	MTC E 219	0.30	0.50% máx.	Cumple
Absorción (*)	MTC E 206	0.90	0.50% máx.	No Cumple

Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Diseño de Mezcla asfáltica Convencional

Ensayo Marshall

Es el ensayo donde podemos determinar la mezcla óptima, de una briqueta representativa logrando obtener la mayor estabilidad y contenidos de cemento asfáltico a porcentajes distintos que estos nos ayuda a que se pueda mezclar con los agregados.

El método Marshall se realiza después de obtener la cantidad de agregado, se procede hacer la mezcla con el cemento asfáltico compactando con 75 golpes.

Penetración: es un procedimiento para determinar la penetración bituminosos sólidos y semisólidos en el asfalto.

Punto de inflamación. Es el ensayo que logra determinar la temperatura mínima en la q el asfalto produce flamas al estar en contacto con el fuego.

Ductilidad: es el que determina la capacidad de cambios susceptibles sin llegar a romperse.

Ensayo de adherencia agregado fino y grueso: esta prueba establece la capacidad de unirse con otros agregados.

Ensayo de compresión: estipula la severidad a las cargas.

Ensayo de deflectometria: este ensayo determina la deflexión de los asfaltos.

Ensayo de rugosidad: Se determina los pequeños relieves que debe de tener el pavimento asfáltico para una mejor adherencia de las llantas del vehículo con la capa de rodadura.

Para poder obtener el contenido óptimo de la mezcla asfáltica convencional, se realizaron mezclas con 5 contenidos de asfalto diferentes. Las cuales los porcentajes utilizados fueron los siguientes: 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%.

Los resultados del ensayo Marshall para cada contenido de asfalto, se obtuvieron promediando 3 probetas, cuyos valores no difieren entre ellas, ver los resultados del ensayo Marshall en la Tabla 13.

Tabla 15

Resultado del diseño Marshall de la mezcla convencional

Diseño Marshall de mezcla (T° mezcla: 153°C y T° compactación: 143°C)

Parámetros de Diseño Unidad		Resultados				
Cemento asfáltico	%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Densidad	Kg/cm ³	2.395	2.421	2.437	2.451	2.463
Estabilidad	Kg	1078.3	1215.3	1271.3	1207	1078.3
Flujo	0.01”	10.0	11.6	16.6	13.6	15.3
Vacíos	%	7.2	5.5	4.0	2.7	1.6
VMA	%	15.03	14.50	14.40	14.36	14.43

De los resultados del diseño Marshall de la mezcla convencional se obtuvo las siguientes gráficas de los valores de Densidad, Estabilidad, Flujo, Vacíos y VMA, las cuales se representa en la Figura 24, 25, 26, 27, y 28.

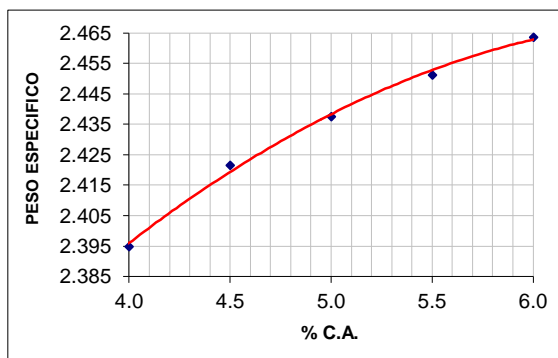


Figura 25 Variación del peso específico respecto al % Cemento asfáltico

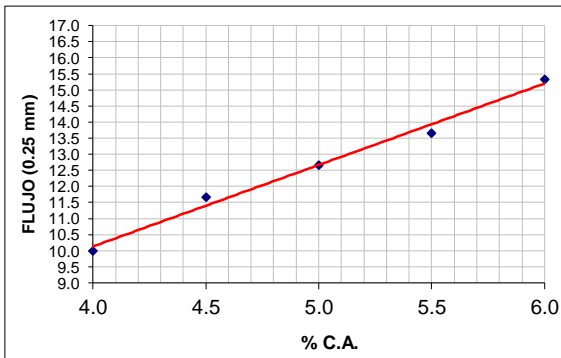


Figura 24 Variación del flujo respecto al % Cemento asfáltico

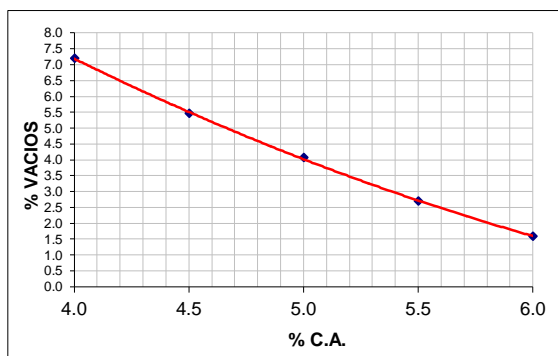


Figura 26. Variación de Vacíos respecto al % Cemento asfáltico.

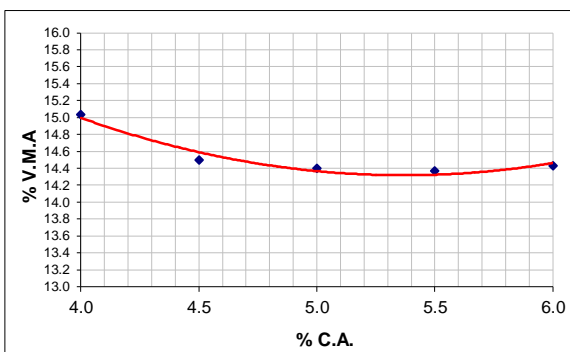


Figura 27. Variación del VMA respecto al % Cemento asfáltico.

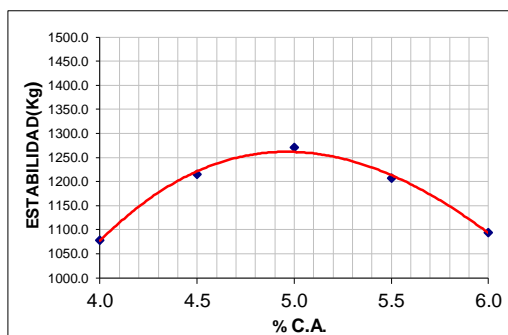


Figura 28 Variación de la estabilidad respecto al % Cemento asfáltico

Para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla, se obtuvo desde el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos, con el cual el contenido de asfalto es de 5.0%. La cual indica en la norma que se puede variar en $\pm 2\%$ el contenido óptimo, motivo por el cual se trabajó 5.2% de contenido óptimo. Con el contenido óptimo se evaluaron los demás parámetros, los cuales cumplen los requerimientos del diseño especificados en la Tabla 13 basada en la EG-2013, los cuales se muestran en la Tabla 14.

Tabla 16
Requerimiento EG-2013 y diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional

Parámetros de Diseño Mezcla convencional	Diseño	Requerimiento	Criterio de aceptación
Óptimo CA (%)	5.2		-----
Granulometría	ok	Huso D-5 (ASTM D3515)	Cumple
Marshall MTC E504			
1. Compactación # de Golpes por lado	75	75	Cumple
2. Densidad (gr/cm ³)	2.444	-	-----
3. Estabilidad (min.) (kg)	1252	8.15 kN/831 kg	Cumple
4. Flujo (0.04"/0.25mm)	13.2	8-20 / 3-5	Cumple
5. Relación estabilidad – flujo (kg/cm)	3742	1700 - 4000	Cumple
6. Porcentaje de Vacíos de aire (%)	3.5	3% - 5%	Cumple
Vacíos en el Agregado Mineral (%)	14.33	14% min	Cumple
Relación polvo - asfalto	1.24	0.6 – 1.3	Cumple

2.4.3. Diseño de Mezcla asfáltica con adición de polvo de caucho incorporado mediante proceso por vía seca.

La metodología de diseño empleada toma en consideración, Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático (Gallego y Saiz, 2017) y Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22 (Instituto del Asfalto, 1982).

Se estudia la influencia que produce el polvo de caucho al incorporarse como una parte de los agregados finos en la elaboración de las mezclas asfálticas modificadas.

La técnica de utilización del caucho es mediante proceso por vía seca y la tecnología para el uso del caucho es la convencional, la cual usa porcentajes de incorporación de caucho hasta el 2.5% del peso total de los agregados.

Los granos de caucho se incorporaron en porcentajes de 0.5%, 1.5% y 2.5% con respecto al peso del agregado y se utiliza una granulometría total que se enmarca dentro de los usos granulométricos de la ASTM D 3515.

(Granados, 2017, p. 92).

Polvo de caucho utilizado

El caucho utilizado en esta investigación será suministrado por un proveedor local “Caucho Perú”, quien brinda el servicio de reciclaje de llantas usadas y trituración. El polvo de caucho es obtenido producto del reciclado, lo cual está compuesto por caucho proveniente de la trituración mecánica y separación de otros materiales que están compuestas las llantas usadas, donde las principales características son la granulometría, contenido de humedad y contenido de impurezas (acero, textil y otras impurezas).

Granulometría

Se determinó la distribución de la granulometría en base a la norma UNE-EN 933-2.

El procedimiento consistió en introducir una muestra de aprox. 300 gr en un equipo de tamizado para clasificar el material por tamaños, donde visualizó que la forma de las partículas superiores al tamiz N° 16 (1.19 mm) son alargadas y tienen aglomeraciones debido al proceso de trituración utilizada, se prefirió no considerarlas y trabajar con las partículas desde el tamiz N° 16 (1.19 mm) hacia abajo para tener un grano de caucho más homogéneo. La granulometría del caucho original se muestra en la Tabla 15.

Tabla 17

Granulometría de los granos caucho original.

<i>Tamiz ASTM</i>	<i>mm</i>	<i>Porcentaje que Pasa %</i>
Nº 8	2.360	100.0
Nº 16	1.190	99.9
Nº 30	0.600	60.1
Nº 50	0.300	8.6
Nº 100	0.150	1.5
Nº 200	0.075	0.3

Fuente: Elaboración propia

Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad de acuerdo a la Norma UNE 103-300-3, excepto a que la temperatura de calentamiento del horno es de 105 +/- 5°C.



Figura 29 Muestra de polvo caucho (Referencial)
Fuente: Elaboración propia

Contenido de textil

Se determinó el contenido de textil de acuerdo a la Norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX.

Contenido de impurezas

Se determinó el contenido de impurezas de acuerdo a la Norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX, basado en una separación densimétrica de materiales, provocando la decantación de partículas extrañas.



Figura 30 Muestra de polvo caucho para hallar el contenido de impurezas.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se presentan las características físicas del polvo de caucho y el requerimiento de control de calidad de acuerdo a las Normas UNE-EN 933-2 y UNE-CEN/TS 14243:2012 EX.

Tabla 18

Características físicas del polvo de caucho utilizado.

<i>Requisitos Físicos</i>	<i>Muestra</i>	<i>Requerimientos UNE-CEN/TS 14243:2012 EX y</i>	<i>Criterio de aceptación</i>
Granulometría	Ok	Huso P2	Cumple
Contenido de Agua	0.71	< 0.75 %.	Cumple
Materiales ferromagnéticos	0.009	≤ 0.01 %.	Cumple
Materiales textiles	0.0	≤ 0.5 %.	Cumple
Impurezas	0.23	≤ 0.25 %.	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para la elaboración de probetas de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho.

El procedimiento para la elaboración de las probetas de mezcla asfáltica modificada con granos de caucho en laboratorio no tiene mucha diferencia del procedimiento empleado para una mezcla asfáltica convencional, excepto que se requiere previamente la determinación del tiempo y temperatura de digestión, antes de proceder con la compactación de la mezcla. A continuación, se detalla los pasos que se realizaron para la elaboración de las probetas:

1. Se establecerá los porcentajes de grano de caucho y asfalto, referidos al peso total de la mezcla. Asimismo, se estableció la temperatura y tiempo a la que se llevara a cabo el proceso de digestión, donde estos parámetros se definen mediante la evaluación de la densidad y resistencia retenida a la acción del agua, mediante el ensayo de Inmersión-Compresión.
2. Se combinará las distintas fracciones de agregados para obtener la granulometría de diseño. Asimismo, se tuvo en cuenta las cantidades de asfalto, polvo de caucho y agregados para obtener el tamaño adecuado de las probetas que son requeridas para cada ensayo.



Figura 31 Combinación de agregados.
Fuente: Elaboración propia

3. Se calentarán los agregados en horno a la temperatura de mezclado y pesó la cantidad de grano de caucho a utilizar por probeta. La temperatura de mezclado se fijó igual a la temperatura de digestión.



Figura 32 Cantidad de caucho a utilizar por probeta.

Fuente: Elaboración propia

4. Se mezclará los agregados calientes con la cantidad de polvo de caucho a incorporar.



Figura 33 Mezcla de agregados con los granos de caucho.

Fuente: Elaboración propia

5. Se adicionará a la mezcla de agregados con caucho, el cemento asfáltico previamente calentado a la temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad y luego se realizará la mezcla hasta que se haya conseguido la envuelta total de agregados con el cemento asfáltico.



Figura 34 Mezcla de agregados, caucho y cemento asfáltico.

Fuente: Elaboración propia

6. Se colocará la mezcla asfáltica modificada por un periodo de digestión en horno, cuyo tiempo y temperatura se definieron con anterioridad mediante el ensayo de Inmersión-Compresión.
7. Se retirará la mezcla asfáltica modificada del horno y removi6 el material.
8. Se compactará la mezcla asfáltica modificada en caliente en moldes tipo Marshall a una temperatura 10° C más baja que la temperatura de digestión, con 75 golpes del martillo Marshall, por ambos lados de la probeta.



Figura 35. Compactación de la mezcla asfáltica modificada.

Fuente: Elaboración propia

9. Las probetas se mantendrán en los moldes un mínimo de 4 horas o hasta que la mezcla adquiera la temperatura de ambiente.
10. Obtenidas las probetas se prosigue con los ensayos requeridos.

Determinación del tiempo y temperatura de digestión

Como punto de partida para la elaboración de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho, se requiere determinar la temperatura y el tiempo de digestión, para ello se fabricó probetas con el procedimiento a diferentes temperaturas y tiempos de digestión, seleccionando la temperatura y tiempo de digestión que permitió una mayor densidad, así como un mayor índice de resistencia retenida por medio del ensayo de Inmersión-Compresión.

Ensayo Inmersión - Compresión

El ensayo permite determinar el efecto del agua a la resistencia a la compresión de mezclas asfálticas, de acuerdo a la sección MTC E 518 del Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).



Figura 36 Compactación de probetas por compresión.

Fuente: Elaboración propia



Figura 37 Probetas a temperaturas de 153°C, 158°C, 170°C y 180°C.

Fuente: Elaboración propia

Las probetas fueron divididas en dos grupos de tres especímenes para cada temperatura y tiempo de digestión, en base a que la densidad relativa media de cada grupo sea aproximadamente la misma. Luego se acondicionó las probetas del primer

grupo a la temperatura de ensayo de 25° C durante cuatro horas, asimismo se acondiciono las probetas del segundo grupo en agua a temperatura de 60°C durante veinticuatro horas para luego transferirlos a un segundo baño de agua a 25°C por 2 horas.

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión simple del primer grupo (probetas en seco) es R1 y la del segundo (probetas sumergidas) es R2, usando una velocidad de 5.08 mm/min, tal como se visualiza en la figura 38.



Figura 38 Compresión Axial de Probetas.

Fuente: Elaboración propia

Todas las probetas modificadas con caucho son comparadas con las probetas de la mezcla convencional con fin de obtener mejores resultados de densidad e índice de resistencia retenida, debido a que la variación del porcentaje de incorporación de caucho varía los resultados de índice de resistencia retenida y con ello se determinó la temperatura.

El índice de resistencia retenida para las distintas mezclas se muestra en la tabla 17.

Tabla 19
Resultados del ensayo Inmersión – Compresión.

<i>Mezcla</i>	<i>T° digestión (°C)</i>	<i>Tiempo digestión (hr)</i>	<i>% Caucho</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Seco R1 (Mpa)</i>	<i>Sumergido R2 (Mpa)</i>	<i>R (%)</i>
P1	0	0	0.0	2444	3.39	3.00	88.5
M 1	153	2	0.5	2411	3.86	3.27	84.7
M 2	153	2	1.5	2344	3.64	2.77	76.1
M 3	153	2	2.5	2246	3.65	2.21	60.5
M 4	158	2	1.5	2353	3.88	2.98	76.8
M 5	158	2	1.5	2353	4.25	3.63	85.4
M 6	158	2	0.5	2420	4.56	4.44	97.4
M 7	158	2	1.5	2353	4.04	3.69	91.3
M 8	158	2	2.5	2255	3.45	3.07	89.0

Fuente: Elaboración propia

Probetas para T 153°C y 2 hrs de tiempo de digestión.

Las mezclas M1, M2, M3 y M4 se fabricaron con temperatura de 153° C y un tiempo de digestión de 2 horas, variando el porcentaje de caucho de 0.5%, 1.5% y 2.5%.

Los resultados obtenidos para estas mezclas, se grafican y donde se visualiza que el índice de resistencia retenida disminuye al agregar mayor porcentaje de caucho en la mezcla, así como la resistencia a la compresión de la mezcla se ve perjudicada por efecto del agua cuando contiene más porcentaje de caucho, esto podría deberse a que, a esta temperatura, no está ocurriendo completamente el proceso de digestión (el caucho no está interactuando con el asfalto).

Probetas para T 158°C y 1hr - 2 hrs de tiempo de digestión.

Al incrementar la temperatura de digestión de la mezcla a 153°C, manteniendo el porcentaje de caucho en 1,5% y variando el tiempo de digestión, se obtienen los resultados para las mezclas M4 y M5.

Probetas para T 158°C y 2 hrs de tiempo de digestión.

Al seguir incrementando la temperatura de digestión de la mezcla a 158°C y un tiempo de digestión de 2 horas, se obtienen las mezclas M6, M7 y M8, variando el porcentaje de caucho de 0.5%, 1.5% y 2.5%.

De este modo, comparando los resultados obtenidos con los resultados anteriores a 153°C se obtienen mejores resultados de índice de resistencia retenida a la temperatura de 158°C.

Comportamiento de los Parámetros Marshall.

Estabilidad Marshall y Ensayo de Flujo

Calentar el agua del baño a 140°F (60°C) y colocar los especímenes a ser ensayados por un período de 30 a 40 minutos. Los especímenes se ubicarán de manera escalonada para que todos los especímenes sean calentados al tiempo especificado antes de ser ensayados.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las barras guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente. Luego de calentarlos el tiempo necesario, se irán sacando uno a la vez, quitarles el exceso de agua con una toalla y colocarlo rápidamente en la mordaza Marshall.

Colocar el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y compruebe la lectura inicial. Aplicar la carga a una velocidad de deformación de 2 pulg/min (50.8 mm/minuto) hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según se lea en el dial respectivo. El punto de rotura se define como la carga máxima obtenida y se registra como el valor de estabilidad Marshall,

expresado en Newtons (lbf). Mientras se está determinando la estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la barra guía; libérese cuando comience a decrecer la carga y anote la lectura. Este será el valor del “flujo” para la muestra expresado en centésimas de pulgada. Por ejemplo, si la muestra se deformó 3.8 mm (0.15”) el valor de flujo será de 15. Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. flujo en 0.01 pulgadas (0.25 mm). El ensayo se realiza en un minuto contados desde que se saca el espécimen del baño.

Repita los pasos hasta que todos los especímenes sean ensayados.

1. El tiempo total transcurrido entre sacar el espécimen del baño y aplicar la carga es de 60 segundos como máximo.
2. El tiempo total en el agua de baño para cada juego de tres especímenes es entre 30 a 40 minutos.

Antes de proceder al cálculo del contenido óptimo de asfalto y caucho, se evalúo el comportamiento de los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada para las diferentes temperaturas, con fin de verificar la temperatura de digestión obtenida en el ensayo Compresión - Inmersión.

Se realizó probetas con porcentajes de incorporación de caucho de 0.5%, 1.5% y 2.5%, con contenido de cemento asfáltico de 5.2%, con tiempo de digestión de 2 horas, para temperatura de digestión de 153°. Asimismo, se realizó probetas para incorporación de caucho de 0.5% a las temperaturas de 153° y 158°C, con las mismas condiciones de digestión y cemento asfáltico, para someterlas al ensayo Marshall, tal como se visualizan en las Figuras. 2.14, 2.15, y 2.16.

A continuación, se comparan los valores de cada uno de los parámetros Marshall de las mezclas modificadas con caucho (ver formato del ensayo Marshall de mezcla

modificada con caucho en el Anexo H).



Figura 39 Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 153°C.



Figura 40 Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 158°C.

Fuente: Elaboración propia



Figura 41 Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 170°C.

Fuente: Elaboración propia

Para obtener un mejor análisis del comportamiento de los parámetros Marshall, se verán sus características: Densidad, estabilidad, flujo, vacíos de la mezcla, vacíos del agregado mineral y vacíos llenos de asfalto.

a. Densidad.

Para determinar la densidad de las probetas, se realiza el ensayo de acuerdo a la sección MTC E514 del Manual de Ensayos de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016). En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos de densidad para las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho.

Tabla 20

Resultados de densidad.

<i>Densidad (gr/cm³)</i>	
<i>Mezclas</i>	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>
	5.2
153°C / 2hr	
0.5%	2.411
1.5%	2.344
2.5%	2.246
158°C / 2hr	
0.5%	2.420

Fuente: Elaboración propia

b. Estabilidad

Para determinar la estabilidad de las probetas, se realiza el ensayo de acuerdo a la sección MTC E504 del Manual de Ensayos de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016). En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de estabilidad para las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho.

Tabla 21 Resultados de estabilidad.

Resultados de estabilidad.

<i>Estabilidad (kg)</i>	
<i>Mezclas</i>	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>
	5.2
153°C / 2hr	
0.5%	1771
1.5%	1482
2.5%	1144
158°C / 2hr	
0.5%	2001

Fuente: Elaboración propia

c. Flujo

Para determinar el flujo de las probetas se realiza el ensayo de acuerdo a la sección MTC E 504 del Manual de Ensayos de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016). En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos del flujo para las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho.

Tabla 22

Resultados del flujo.

<i>Mezclas</i>	<i>Flujo (0.01")</i>
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>
	<i>5.2</i>
153°C / 2hr	
0.5%	13.7
1.5%	14.8
2.5%	17.4
158°C / 2hr	
0.5%	8.3

Fuente: Elaboración propia

d. Vacíos en la mezcla.

Para determinar los vacíos en la mezcla se realiza el ensayo de acuerdo a la sección MTC E 505 del Manual de Ensayos de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016). En la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho.

Tabla 23

Resultados de vacíos en la mezcla.

<i>Mezclas</i>	<i>% Vacíos</i>
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>
	5.2
153°C / 2hr	
0.5%	3.9
1.5%	5.6
2.5%	8.5
158°C / 2hr	
0.5%	3.9

Fuente: Elaboración propia

e. Vacíos en el agregado mineral

Para determinar los vacíos en el agregado mineral de la mezcla se realiza el ensayo de acuerdo a al Manual de Ensayos de Materiales. En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de vacíos de agregado mineral para las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho.

Tabla 24

Resultados de vacíos en el agregado mineral.

<i>Mezclas</i>	<i>% VMA</i>
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>
	5.2
153°C / 2hr	
0.5%	14.60
1.5%	16.17
2.0%	18.70
158°C / 2hr	
0.5%	14.60

Fuente: Elaboración propia

f. Vacíos llenos de asfalto

Representa el contenido de cavidades llenas con asfalto en volumen efectivo relativo a la cantidad de cavidades en el agregado (llenas de aire y con asfalto efectivo). En otras palabras, es el porcentaje del VMA que contiene cemento asfáltico.

Para determinar los vacíos llenos de asfalto de la mezcla se realiza el ensayo de acuerdo a al Manual de Ensayos de Materiales. En la Tabla 23 se muestran los resultados obtenidos de vacíos llenos de asfalto para las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho.

Tabla 25

Resultados de vacíos llenos de asfalto.

<i>Mezclas</i>	<i>% VFA</i>
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>
	<i>5.2</i>
153°C / 2hr	
0.5%	72.3
1.5%	64.4
2.5%	54.0
158°C / 2hr	
0.5%	72.3

Fuente: Elaboración propia

Diseño final con la mezcla de polvo de caucho.

De los resultados del diseño Marshall de la mezcla con polvo de caucho se obtuvo las siguientes gráficas de los valores de Densidad, Estabilidad, Flujo, Vacíos y VMA, las cuales se representa en la Figura 42, 43, 44, 45, 46.

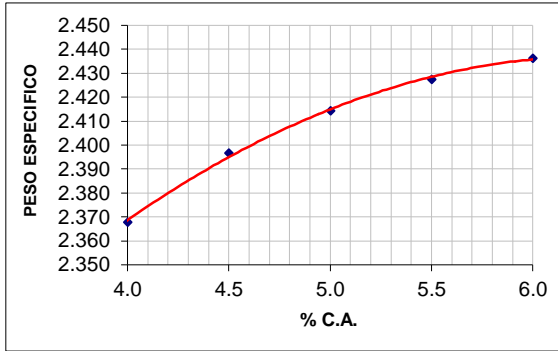


Figura 43 Variación del peso específico de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico

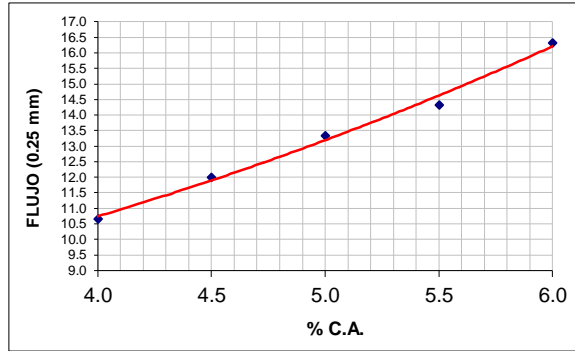


Figura 42 Variación del flujo de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico

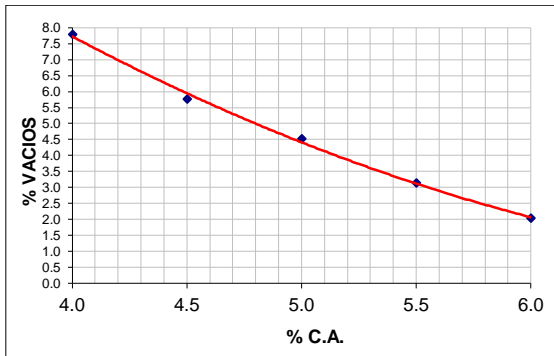


Figura 44 Variación Vacíos de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico

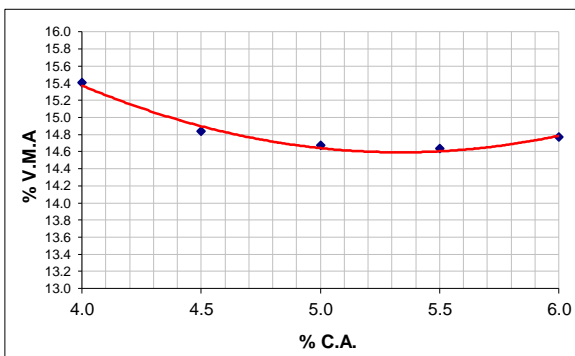


Figura 45 Variación de Vacíos en el agregado mineral de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico.

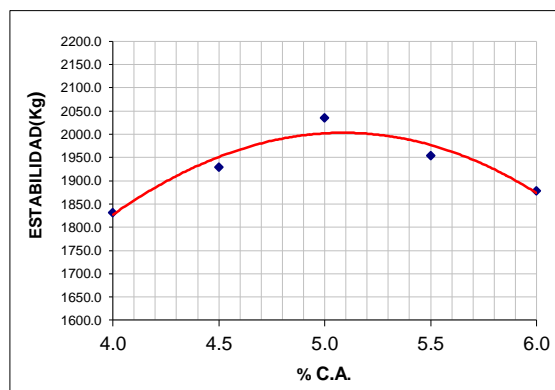


Figura 46 Variación de la estabilidad de la mezcla modificada con 0.5% de caucho respecto al % Cemento asfáltico

Para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla mejorada con polvo de caucho, considerando las temperaturas de 153°C y 158°C por 2 horas y conteniendo 0.5% de polvo de caucho, se obtuvo desde el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos, con el cual el

contenido de asfalto es de 5.0% La cual indica en la norma que se puede variar en $\pm 2\%$ el contenido óptimo, motivo por el cual se trabajó 5.2% de contenido óptimo. Con el contenido óptimo se evaluaron los demás parámetros, los cuales cumplen los requerimientos del diseño especificados en la Tabla 24 basada en la EG-2013.

Tabla 26

Requerimiento EG-2013 y diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional

Parámetros de Diseño Mezcla convencional	Diseño	Requerimiento	Criterio de aceptación
Óptimo CA (%)	5.2		-----
Granulometría	ok	Huso D-5 (ASTM D3515)	Cumple
Marshall MTC E504			
1. Compactación # de Golpes por lado	75	75	Cumple
2. Densidad (gr/cm ³)	2.420	-	-----
3. Estabilidad (min.) (kg)	2001	8.15 kN/831 kg	Cumple
4. Flujo (0.04"/0.25mm)	13.7	8-20 / 3-5	Cumple
5. Relación estabilidad – flujo (kg/cm)	5730	1700 - 4000	Cumple
6. Porcentaje de Vacíos de aire (%)	3.9	3% - 5%	Cumple
Vacíos en el Agregado Mineral (%)	14.60	14% min	Cumple
Relación polvo - asfalto	1.23	0.6 – 1.3	Cumple

Comportamiento de la mezcla asfáltica incorporada con polvo de caucho por medio de los ensayos de caracterización y desempeño.

A continuación, se evaluó la diferencia del comportamiento de la mezcla en función de las propiedades de los siguientes ensayos de caracterización y desempeño, de los diseños óptimos de mezcla asfáltica incorporada con polvo de caucho:

- Resistencia a compresión diametral de mezclas bituminosas.

- Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.
- Ahuellamiento por medio de la Rueda de Hamburgo.
- Módulo Resiliente a la tensión indirecta de mezclas bituminosas.

Resistencia a compresión diametral de mezclas bituminosas.

El ensayo permite determinar la resistencia a compresión diametral de mezclas asfálticas, de acuerdo a la Norma NLT-346/90: Resistencia a Compresión Diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas.



Figura 47 Ensayo de compresión diametral.

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de la carga máxima de rotura de cada probeta se calcula la Resistencia a Compresión Diametral como:

Tabla 27

Resultados de la resistencia a la compresión diametral

Mezcla	T° Digestión (°C)	Tiempo Digestión (hr)	% Caucho	Resistencia a la compresión Diametral		
				Mpa	kgf/cm ²	Variación
P1	0	0	0.0	0.79	7.92	0%
M1	158	2	0.5	1.21	12.13	53%

Fuente: Elaboración propia

Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.

El ensayo permite medir el efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta, de acuerdo a la norma AASHTO T 283 donde se evalúa la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta.



Figura 48 Probetas después de realizar el ensayo de compresión diametral al daño inducido por humedad.

Fuente: Elaboración propia



Figura 49 Ensayo de compresión diametral al daño inducido por humedad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Resultados de resistencia conservada por tracción indirecta respecto al % caucho.

<i>Mezcla</i>	<i>T° digestión (°C)</i>	<i>Tiempo digestión (hr)</i>	<i>% Caucho</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Std (Kpa)</i>	<i>Stm (Kpa)</i>	<i>R (%)</i>
P1	0	0	0.0	2.444	522	443	84.9
M 1	158	2	0.5	2.420	768	720	93.7

Fuente: Elaboración propia

Caracterización de la mezcla asfáltica por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.

El ensayo permite determinar el valor de la pérdida por desgaste de mezclas asfálticas, de acuerdo a la sección MTC E 515 del Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).



Figura 50 Ensayo realizado en la Maquina de los Ángeles.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 29 Probetas después del ensayo de desgaste.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

Resultados de la pérdida por desgaste respecto al % caucho.

<i>Mezcla</i>	<i>T° digestión (°C)</i>	<i>Tiempo digestión (hr)</i>	<i>% Caucho</i>	<i>Perdida por Desgaste (%)</i>
P1	0	0	0.0	3.5%
M 1	158	2	0.5	3.4%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de ahuellamiento de mezclas asfálticas en caliente por medio del equipo de Rueda de Hamburgo.

Este ensayo proporciona una simulación a escala reducida de las condiciones de campo para investigar la resistencia al ahuellamiento y la sensibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas, de acuerdo a la norma AASHTO T324: Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).

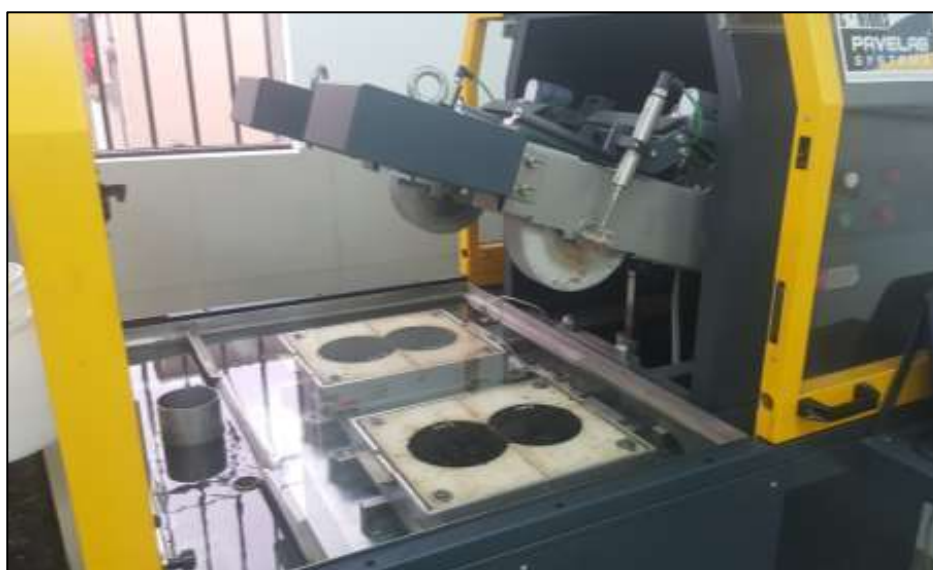


Figura 51 Probetas acondicionadas bajo agua con el equipo de ensayo de Hamburgo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

Condición de término en ensayo de Hamburgo.

<i>Tipo de mezcla asfáltica</i>	<i>NF</i>	<i>Ah máximo</i>	
	<i>N° pasadas</i>	<i>mm</i>	<i>%</i>
0.0% caucho	20 000	9.47	76%
0.5% caucho	20 000	4.71	37.5%

Fuente: Elaboración propia.



Figura 52 Probetas ensayadas en la Rueda de Hamburgo (con y sin caucho).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Parámetros de ahuellamiento del ensayo de Hamburgo.

<i>Tipo de mezcla asfáltica</i>	<i>SIP N° pasadas</i>	<i>Ahsip mm</i>	<i>CS mm/1000 pasadas</i>	<i>SS mm/1000 pasadas</i>
0.0% caucho	1900	3.5	2.25	2.26
0.5% caucho	1700	2.50	1.30	1.30

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del módulo resiliente a la tensión indirecta de mezcla Asfáltica.

El ensayo permite determinar el valor del módulo elástico de mezclas asfálticas luego de aplicar cargas repetidas a tensión indirecta, de acuerdo a la norma AASHTO TP 31: Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension.



Figura 53 Probeta acondicionada en el equipo de ensayo de Módulo Resiliente.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Módulo Resiliente y sensibilidad a la temperatura.

<i>Tipo de mezcla asfáltica</i>	MR (Mpa)		<i>Variación MR (%)</i>		<i>Variación con Temperatura %</i>
	<i>20°C</i>	<i>25°C</i>	<i>20°C</i>	<i>25°C</i>	
0.0% caucho	4831	3266	0	0	32%
0.5% caucho	6990	4891	45%	50%	30%

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Contrastación de hipótesis general. “La incorporación de granos de caucho mejora significativamente el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada mediante proceso por vía seca, respecto a la mezcla asfáltica convencional”.

Para contrastar la hipótesis general se utiliza la distribución de probabilidad T Student para dos muestras independientes, uno es diseño de mezcla asfáltica convencional y la otra el diseño de mezcla modificado con incorporación de 0.5% granos de caucho, a partir de muestras pequeñas menores a 30, con un nivel de significancia de 0.05 (nivel de confiabilidad de 95%).

Prueba de hipótesis de dos colas (contraste bilateral): el contraste de que las medias son iguales es equivalente al contraste de que la diferencia de medias es igual a cero:

$$H_0: \mu_x = \mu_y (\mu_x - \mu_y = 0)$$

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y (\mu_x - \mu_y \neq 0)$$

Dónde:

Ho: Hipótesis nula.

H1: Hipótesis alternativa

Para lo cual se tiene las siguientes condiciones:

- Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

En la Tabla 32 se muestra la comparación de los resultados del Ensayo Marshall, para el contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.2% para la mezcla astática convencional, así como también para la mezcla asfáltica modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho, donde se elaboraron 3 especímenes a 75 golpes a cada lado (tráfico pesado).

Tabla 34

Resultados de ensayo Marshall

RESULTADO DE ENSAYOS MARSHALL				
N°	características		MAC	MAC. Modificado
			Convencional	0.5% caucho
N°	Óptimo de cemento asfáltico	%	5.20	5.20
1	N° de Golpes en cada lado	Unid.	75	75
2	Densidad	K/cm ³	2.444	2.420
3	Estabilidad	Kg	1252	2001
4	Flujo	0.01”	13.2	13.7
6	Vacíos	%	3.5	3.9
7	Vacíos agregado Mineral	%	14.33	14.6

Fuente: Elaboración propia

Contrastación de hipótesis específicas. a. Hipótesis específica 01. “La incorporación de granos de caucho mejora significativamente los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada mediante el proceso por vía seca, respecto a la mezcla asfáltica convencional”

Para contrastar estadísticamente la hipótesis específica se utiliza la distribución de probabilidad T Student para dos muestras independientes (prueba dos colas), uno es diseño de mezcla asfáltica convencional y la otra el diseño de mezcla modificado con incorporación de 0.5% granos de caucho.

a. Hipótesis específica 01

La Estabilidad para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 1252 kg, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 2001 kg; lo cual la Estabilidad de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 749 kg que equivale a 59.8%. En cuanto a los requerimientos de diseño de la estabilidad de la mezcla convencional cumple con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (Estabilidad: mínima), así como la mezcla

modificada con 0.5% de caucho cumple con los criterios del Instituto del asfalto

(Estabilidad: mínima).

Ho: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias de estabilidad, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

H1: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias de estabilidad, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 35

Análisis de t Student para la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Estabilidad (Kg)			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	1229	1988	Dos colas
2	1252	2001	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	1261	2002	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 1247.0$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 1997.0$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 272.3$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 61.0$ Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$ Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{m_1}}} = -71.120$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es $R.A = < -2.776, 2.776 >$.

- Decisión y Conclusión: como $T = -71.120 \notin R.A = < -2.776, 2.776 >$, se rechaza H_0 , es decir la diferencia es significativa a un nivel del 5%.

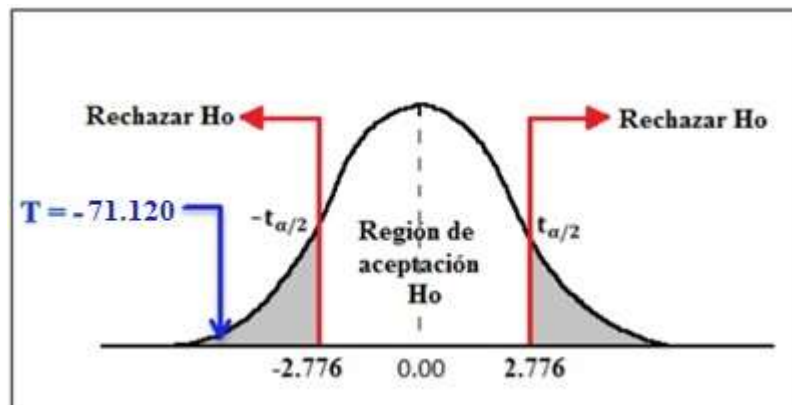


Figura 54 Contraste del valor T de la estabilidad en la región de aceptación y rechazo

Fuente: Elaboración propia

b. Hipótesis específica 02

El Flujo para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 13.2 (0.01”), mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 13.7 (0.01”); lo cual el Flujo de esta mezcla modificada con caucho es ligeramente mayor a la mezcla convencional en 0.5 (0.01”) que equivale a 4%. En cuanto a los requerimientos de diseño del flujo de la mezcla convencional cumple con las Especificaciones Técnicas

Generales para Construcción EG-2013 (Flujo: min. 8 – 14), así como la mezcla modificada con 0.5% de caucho cumple con los criterios del Instituto del asfalto (Flujo: min. 8 – 14).

- Ho: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias de flujo, respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- H1: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias de flujo, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 36

Análisis de t Student para el Flujo de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Flujo (0.01")			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	13.7	14.3	Dos colas
2	13.2	13.7	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	12.7	13.2	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 13.0$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 13.7$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 0.25$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 0.30$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{m_1}}} = -1.242$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es $R.A = < -2.776, 2.776 >$.

- Decisión y Conclusión: como $T = -1.242 \in R.A = < -2.776, 2.776 >$, no se rechaza H_0 , es decir la diferencia no es significativa a un nivel del 5%.

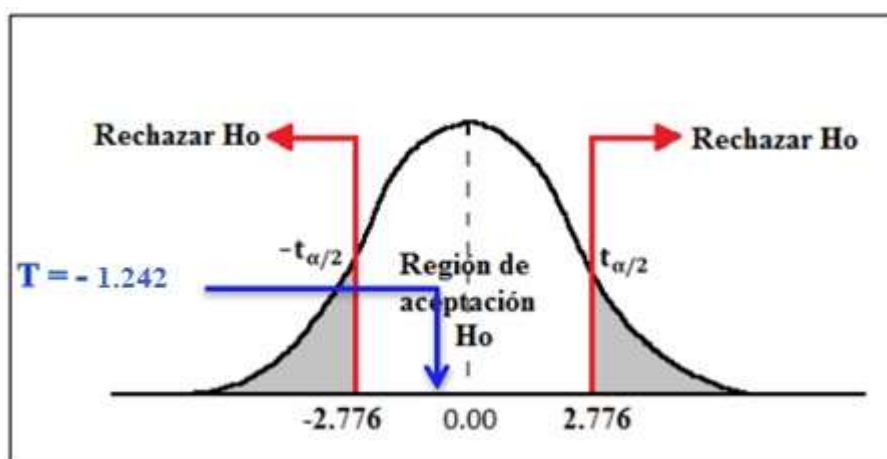


Figura 55 Contraste del valor T del flujo en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia

c. Hipótesis específica 03.

“La incorporación de granos de caucho mejora significativamente el comportamiento de la mezcla en función de las propiedades de los ensayos de caracterización y desempeño de la mezcla asfáltica modificada mediante el proceso por vía seca, respecto a la mezcla asfáltica convencional”.

La Resistencia a la compresión Diametral para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 0.79 Mpa, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 1.21 Mpa; lo cual la Resistencia a la Compresión Diametral de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 0.42 Mpa que equivale a 53%.

- Ho: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias de la resistencia a la compresión diametral, respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- H1: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias de la resistencia a la compresión diametral, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 37

Análisis de t Student para la Resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Resistencia a la compresión diametral (Mpa)			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	0.788	1.246	Dos colas
2	0.784	1.172	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	0.803	1.222	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 0.792$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 1.213$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 0.0001$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 0.0014$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{m_1}}} = -18.698$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es $R.A = < -2.776, 2.776 >$

- Decisión y Conclusión: como $T = -18.698 \notin R.A = < -2.776, 2.776 >$, se rechaza H_0 , es decir la diferencia es significativa a un nivel del 5%.

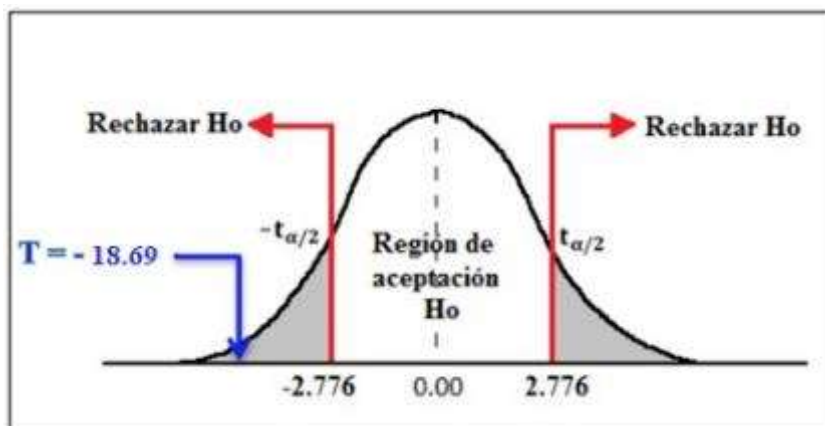


Figura 56 Contraste del valor T de la resistencia a la compresión diametral en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia.

d. Hipótesis específica 04

La Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad - Grupo Seco para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 0.522 Mpa, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 0.768 Mpa; lo cual la Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad de esta mezcla

modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 0.246 Mpa que equivale a 47%.

- Ho: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias de la resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad, respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- H1: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias de la resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 38

Análisis de t Student para la Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Seco) de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Seco) (Mpa)			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	0.509	0.752	Dos colas
2	0.526	0.859	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	0.530	0.694	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \{-t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2}\}$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 0.522$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 0.768$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 0.00012$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 0.007$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{m_1}}} = -5.059$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es $R.A = < -2.776, 2.776 >$ • Decisión y Conclusión: como $T = -5.059 \notin R.A = < -2.776, 2.776 >$, se rechaza H_0 , es decir la diferencia es significativa a un nivel del 5%.

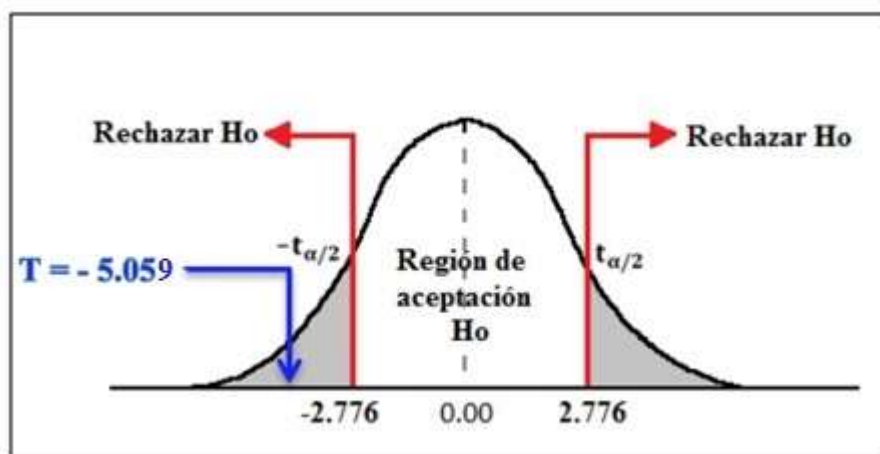


Figura 57 Contraste del valor T de la resistencia inducido a la humedad (Grupo Seco) en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia.

e. Hipótesis específica 05

La Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad - Grupo Húmedo para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 0.443 Mpa, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 0.720 Mpa; lo cual la Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 0.277 Mpa que equivale a 63%.

- Ho: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias de la resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad, respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- H1: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias de la resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 39

Análisis de t Student para la Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Húmedo) de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Húmedo) (Mpa)			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	0.432	0.698	Dos colas
2	0.444	0.736	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	0.453	0.726	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia.

Condición: Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 0.433$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 0.720$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 0.00011$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 0.0004$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{m_1}}} = -21.478$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es $R.A = < -2.776, 2.776 >$.

- Decisión y Conclusión: como $T = -21.47 \notin R.A = < -2.776, 2.776 >$, se rechaza H_0 , es decir la diferencia es significativa a un nivel del 5%.

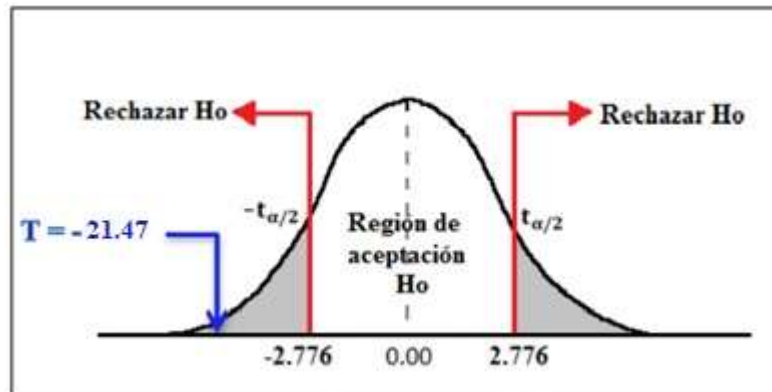


Figura 58 Contraste del valor T de la resistencia inducido a la humedad (Grupo Húmedo) en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia.

f. Hipótesis específica 06

La Pérdida por Desgaste para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 3.5 %, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 3.6%; lo cual la pérdida por desgaste de esta mezcla modificada con caucho es ligeramente mayor a la mezcla convencional en 0.1% que equivale a 3.0%.

- H_0 : Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias de la pérdida por desgaste, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

- H1: Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias de la pérdida por desgaste, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 40

Análisis de t Student para la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Pérdida de desgaste - cántabro (%)			
Nº de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	4.03	3.42	Dos colas
2	3.85	4.80	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	2.78	4.22	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$
4	3.26	1.9	

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \{-t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2}\}$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 4$

Tamaño muestra modificado: $m = 4$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 3.48$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 3.59$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 0.326$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 1.582$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 6$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{m_1}}} = -0.152$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 6 grados de libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.447$, donde la región de aceptación es $R.A = < -2.447, 2.447 >$

- Decisión y Conclusión: como $T = -0.152 \in R.A = < -2.447, 2.447 >$, no se rechaza H_0 , es decir la diferencia no es significativa a un nivel del 5%.

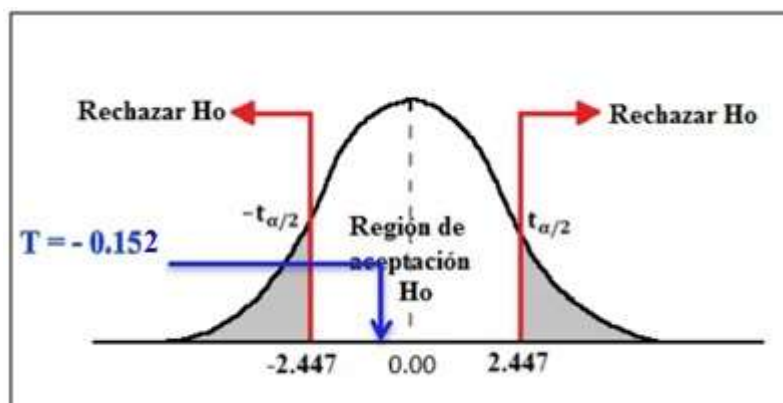


Figura 59 Contraste del valor T de la pérdida por desgaste en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia.

g. Hipótesis específica 07

El Módulo Resiliente a 20°C para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 4831 Mpa, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 6990 Mpa; lo cual el módulo resiliente de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 2159 Mpa que equivale a 45%.

- H_0 : Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias del módulo resiliente, respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- H_1 : Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias del módulo resiliente, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 41

Análisis de t Student para el Módulo Resiliente a 20°C de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Módulo Resiliente a 20°C (Mpa)			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	4838	7000	Dos colas
2	4833	6726	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	4821	7243	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 4831$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 6990$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 76.3$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 66902$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{m_1}}} = -14.45$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de

libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es R.A = $\langle -$

$2.776, 2.776 \rangle$.

- Decisión y Conclusión: como $T = -14.45 \notin R.A = < -2.776, 2.776 >$, se rechaza H_0 , es decir la diferencia es significativa a un nivel del 5%.

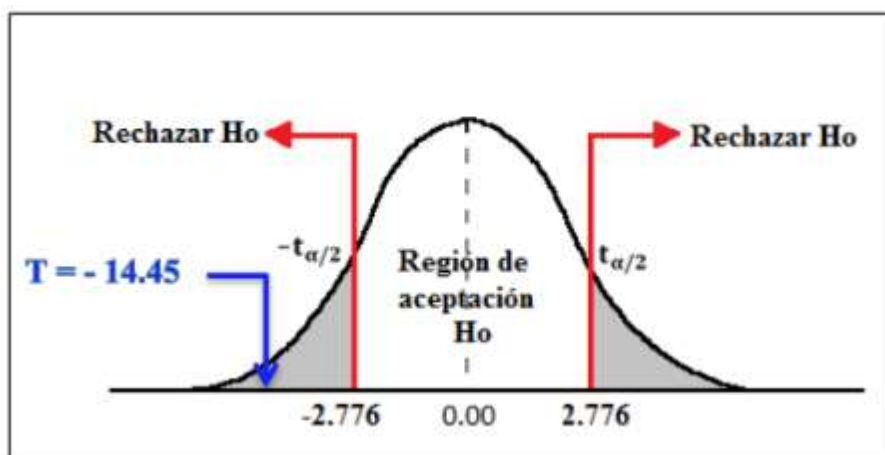


Figura 60 Contraste del valor T del módulo resiliente a 20°C en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia

h. Hipótesis específica 08

El Módulo Resiliente a 25°C para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional es de 3266 Mpa, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 4891 Mpa; lo cual el módulo resiliente de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 1625 Mpa que equivale a 50%.

- H_0 : Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; no existe diferencia significativa entre las dos medias del módulo resiliente, respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- H_1 : Al incorporar de granos de caucho a la mezcla asfáltica modificada; existe diferencia significativa entre las dos medias del módulo resiliente, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Tabla 42

Análisis de t Student para el Módulo Resiliente a 25°C de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho

Módulo Resiliente a 25°C (Mpa)			
N° de muestras	MAC Convencional	MAC. Modificado 0.5% caucho	Contraste Bilateral
1	3314	4801	Dos colas
2	3191	4771	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	3293	5101	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

Fuente: Elaboración propia

Condición: Si $T \in \langle -t_{\alpha/2}, t_{\alpha/2} \rangle$, se acepta Ho y se rechaza H1.

Tamaño muestra convencional: $n = 3$

Tamaño muestra modificado: $m = 3$

Media muestral convencional: $\bar{X} = 3266$

Media muestral modificado: $\bar{Y} = 4891$

Varianza muestral convencional: $S_x^2 = 4329$

Varianza muestral modificado: $S_y^2 = 33300$

Grados de libertad: $n + m - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%: $\alpha = 0.05$

- Cálculo de la probabilidad de la distribución T Student:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{Y}_1}{\sqrt{\frac{S_x^2}{n_1} + \frac{S_y^2}{m_1}}} = -14.51$$

- Cálculo de la Región Crítica: $t < -t_{\alpha/2}$, ó $t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$

$\alpha = 0.05$, $\alpha/2 = 0.025$ $1 - \alpha/2 = 0.975$, de la tabla de distribución t, con 4 grados de

libertad se obtiene $t_{1-\alpha/2} = -t_{\alpha/2} = 2.776$, donde la región de aceptación es R.A = $\langle -$

$2.776, 2.776 \rangle$.

- Decisión y Conclusión: como $T = -14.51 \notin R.A = < -2.776, 2.776 >$, se rechaza H_0 , es decir la diferencia es significativa a un nivel del 5%.

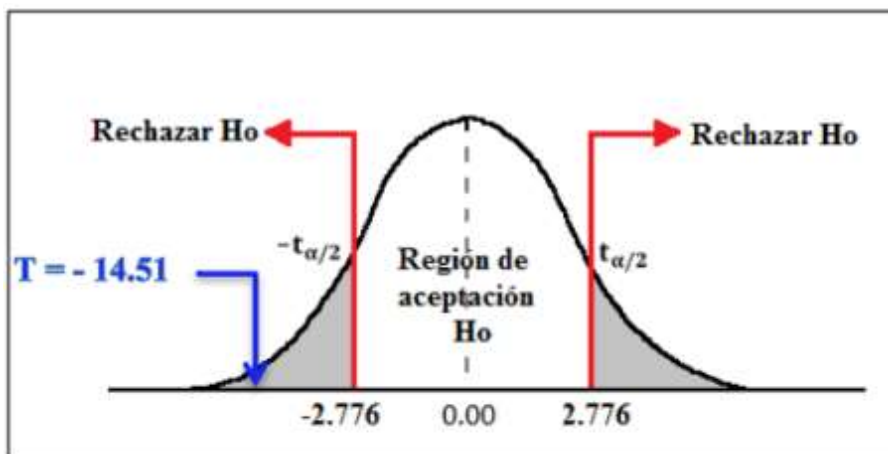


Figura 61 Contraste del valor T del módulo resiliente a 20°C en la región de aceptación y rechazo.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando los resultados de la contratación de hipótesis general y específicas que se realizó a la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho y a la mezcla convencional, se concluye que la incorporación de granos de caucho influye en la mejora del comportamiento mecánico de la mezcla modificada, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

**ANÁLISIS DE COSTO DE MEZCLA ASAFALTICA CONVENCIONAL Y CON
POLVO DE CAUCHO INCORPORADO**

Para lo cual se hará una comparación de Precios con la Mezcla Asfáltica Convencional

Tabla 43

Análisis de Precios Unitarios - Mezcla asfáltica convencional

APU MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL					
Partida	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALT. EN CALIENTE PEN 60/70				
Rendimiento	m3/DIA				
Costo unitario directo por:m3	S/. 569.91 (sin igv)				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OFICIAL	hh	1	0.0321	12.83	0.41
OPERARIO	hh	1	0.0321	14.75	0.47
CAPATAZ	hh	1	0.0321	19.18	0.62
PEON	hh	3	0.0964	11.58	3.35
					4.85
Materiales					
PETROLEO DIESEL # 2	gal		5.8	10.84	62.87
ARENA ZARANDEADA (P/ ASFALTO)	m3		0.52	21.94	11.41
ARENA CHANCADA (P/ ASFALTO)	m3		0.43	61.97	26.65
PIEDRA CHANCADA (P/ ASFALTO)	m3		0.43	34.98	15.04
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	kg		132.298	2.61	345.30
MEJORADOR DE ADHERENCIA (ADHESOL 1000)	kg		0.6614	10.48	6.93
FILLER (CAL HIDRATADA)	kg		42.974	0.88	37.82
					506.02
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5	2.62	13.10
CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3 yd3	hm	1	0.0321	170.08	5.46
GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150 KW	hm	1	0.0321	172.83	5.55
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW	hm	2	0.0643	139.38	17.92
PLANTA DE ASFALTO DE 60 - 115 Ton/hr	hm	1	0.0321	530	17.01
					59.04
				TOTAL	569.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44
Análisis de Precios Unitarios - Mezcla asfáltica con polvo de caucho incorporado

APU MEZCLA ASFÁLTICA CON POLVO DE CAUCHO INCORPORADO					
Partida	PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFALT. EN CALIENTE PEN 60/70				
Rendimiento	m3/DIA				
Costo unitario directo por: m3	S/. 546.67	(sin igv)			
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OFICIAL	hh	1	0.0321	12.83	0.41
OPERARIO	hh	1	0.0321	14.75	0.47
CAPATAZ	hh	1	0.0321	19.18	0.62
PEON	hh	3	0.0964	11.58	3.35
					4.85
Materiales					
PETROLEO DIESSEL # 2	gal		5.8	10.84	62.87
PIEDRA CHANCADA (P/ ASFALTO)	m3		0.52	34.98	18.19
ARENA ZARANDEADA (P/ ASFALTO)	m3		0.12	21.94	2.63
ARENA CHANCADA (P/ ASFALTO)	m3		0.43	61.97	26.65
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	kg		132.298	2.61	345.30
MEJORADOR DE ADHERENCIA (ADHESOL 1000)	kg		0.6614	10.48	6.93
CAUCHO RECICLADO (Kg)	kg		8	2.5	20.00
					482.57
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5	2.62	13.10
CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP	hm	1	0.0321	170.08	5.46
GRUPO ELECTROGENO 230 HP 150 KW	hm	1	0.0321	172.83	5.55
GRUPO ELECTROGENO 116 HP 75 KW	hm	2	0.0643	139.38	17.92
PLANTA DE ASFALTO DE 60 - 115 Ton/hr	hm	1	0.0321	530	17.01
					59.04
				TOTAL	546.47

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Se puede comprobar que con el asfalto modificado por metro cubico tendríamos un ahorro de 4.11% a diferencia de mezcla asfáltica convencional. Por tanto, ya que ofrece mejores propiedades mecánicas y también son más económicas construir asfaltos con polvo de caucho.

ESTIMACIÓN DE PERIODOS DE MANTENIMIENTO

Mediante las siguientes tablas, se muestran los periodos estimados de mantenimiento tanto para la mezcla convencional como la mezcla con polvo caucho incorporado.

Tabla 45

Costos y Periodos estimados de mantenimiento del asfalto convencional

AÑOS (VIDA UTIL DEL PAVIMENTO)	COSTO MANT. RUTINARIO (**)	COSTO MANT. PERIÓDICO (**)	TIPO DE INTERVENCIÓN
2017			CONSERVACION
2018	\$52,166.00		CONSERVACION
2019	\$52,166.00		CONSERVACION
2020	\$52,166.00		CONSERVACION
2021	\$52,166.00		CONSERVACION
2022	\$52,166.00	\$830,260.00	REFUERZO DECARPETA ASFALTICA.
2023	\$52,166.00		CONSERVACION
2024	\$52,166.00		CONSERVACION
2025	\$52,166.00		CONSERVACION
2026	\$52,166.00		CONSERVACION
2027	\$52,166.00	\$830,260.00	REFUERZO DECARPETA ASFAL.
2028	\$52,166.00		CONSERVACION
2029	\$52,166.00		CONSERVACION
2030	\$52,166.00		CONSERVACION
2031	\$52,166.00		CONSERVACION
2032	\$52,166.00	\$830,260.00	REFUERZO DECARPETA ASFAL.
2033	\$52,166.00		CONSERVACION
2034	\$52,166.00		CONSERVACION
2035	\$52,166.00		CONSERVACION
2036	\$52,166.00		CONSERVACION
2037	\$52,166.00		CONSERVACION
TOTAL (A 20 AÑOS DE VIDA UTIL)	\$1,043,320.00	\$2,490,780.00	
COSTO TOTAL (MANTENIMIENTO GENERAL)	\$3,534,100.00		
COSTO DE MANTENIMIENTO EN 10 KM / AÑO	\$17,670.50		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46
Costos y Periodos estimados de mantenimiento del asfalto con polvo de caucho incorporado

AÑOS (VIDA UTIL DEL PAVIMENTO)	COSTO MANT. RUTINARIO (**)	COSTO MANT. PERIÓDICO (**)	TIPO DE INTERVENCION
2017			CONSERVACION
2018	\$52,166.00		CONSERVACION
2019	\$52,166.00		CONSERVACION
2020	\$52,166.00		CONSERVACION
2021	\$52,166.00		CONSERVACION
2022	\$52,166.00		CONSERVACION
2023	\$52,166.00		CONSERVACION
2024	\$52,166.00		CONSERVACION
2025	\$52,166.00		CONSERVACION
2026	\$52,166.00		CONSERVACION
2027	\$52,166.00	\$830,260.00	REFUERZO DECARPETA ASFAL.
2028	\$52,166.00		CONSERVACION
2029	\$52,166.00		CONSERVACION
2030	\$52,166.00		CONSERVACION
2031	\$52,166.00		CONSERVACION
2032	\$52,166.00		CONSERVACION
2033	\$52,166.00		CONSERVACION
2034	\$52,166.00		CONSERVACION
2035	\$52,166.00		CONSERVACION
2036	\$52,166.00		CONSERVACION
2037	\$52,166.00	\$830,260.00	REFUERZO DECARPETA ASFAL.
2038	\$52,166.00		CONSERVACION
2039	\$52,166.00		CONSERVACION
2040	\$52,166.00		CONSERVACION
2041	\$52,166.00		CONSERVACION
2042	\$52,166.00		CONSERVACION
2043	\$52,166.00		CONSERVACION
2044	\$52,166.00		CONSERVACION
2045	\$52,166.00		CONSERVACION
2046	\$52,166.00		CONSERVACION
2047	\$52,166.00		CONSERVACION
TOTAL (A 30 AÑOS DE VIDA UTIL)	\$1,564,980.00	\$2,490,780.00	
COSTO TOTAL (MANTENIMIENTO GENERAL)	\$4,055,760.00		
COSTO DE MANTENIMIENTO EN 10 KM / AÑO	\$13,519.20		

Fuente: Elaboración propia

Ahorro en costos de mantenimiento: Esta es una variable muy importante ya que los mantenimientos son dependientes del estado de servicio de una carretera. Está determinada por la suma de todos los mantenimientos programados entre los años de servicio y los kilómetros de la carretera.

Tabla 47

Precio de mantenimiento por 10 Km/Año

DESCRIPCIÓN	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	MEZCLA ASFÁLTICA CON POLVO DE CAUCHO INCORPORADO	VARIACIÓN (%)
PRECIO POR KM/AÑO (HASTA EL AÑO 2045)	\$17,670.50	\$13,519.20	+ 76.50

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Se puede observar que los costos de mantenimiento usando la mezcla modificada son inferiores en un 76.50% con respecto a los costos de mantenimiento con la mezcla convencional. Es decir, por cada año, el mantenimiento de un kilómetro de carretera con mezcla asfáltica convencional cuesta \$17,670.50, mientras que con la mezcla modificada \$13,519.20, representando un ahorro de \$4,151.3 por kilómetro de mantenimiento en cada año.

Tabla 48

Vida útil del pavimento con los dos tipos de alternativas

DESCRIPCIÓN	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	MEZCLA ASFÁLTICA CON POLVO DE CAUCHO INCORPORADO	VARIACIÓN (%)
VIDA UTIL DEL PAVIMENTO	20 AÑOS	30 AÑOS	+ 10 AÑOS

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

(Capcha, Karla, 2018 pág. 91 y 92). Se tiene referencias que, utilizando la mezcla modificada con caucho reciclado, el periodo de vida útil del asfalto se puede extender 10 años más con respecto al asfalto con mezcla convencional, **“mejorando así el tiempo de servicio de dicha vía”**. (Escudero Grupo Empresarial, 2019).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

La presente investigación aplicada en el laboratorio WRC INGENIERÍA Y GEOTÉCNIA S.A.C. diseñando un asfalto modificado con material de caucho reciclado, confirma lo planteado por (Fajardo Luis y Vergaray Alfonso, 2014), mediante el proceso que se realizó el diseño de asfalto (vía seca). El caucho se incorporó como un agregado más, llegando a reemplazar en parte al agregado fino, logrando así mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas con el polvo del neumático aumentando la estabilidad en un 3.54% a comparación de un asfalto convencional e incluso aumenta la vida útil llegando hacer 30 años de vida y disminuye el mantenimiento a la que se puede dar.

Así sostiene (Marín Hernández, Alberto. 2008), que el material del caucho reciclado logra un cambio significativo con el comportamiento mecánico en las mezclas asfálticas. De igual manera se cotejó lo mencionado por (Angulo Ricardo y Duarte José Luis, 2005), donde propone la elaboración de un asfalto modificado con caucho reciclado. Ya que a la incorporación de este material en un diseño de asfalto se llega a obtener una mejora en algunas de sus propiedades como la recuperación elástica por torsión y también el aumento de la resistencia a la deformidad.

4.2 Conclusiones

La incorporación de granos de caucho influye en la mejora significativa del comportamiento mecánico de la mezcla modificada mediante el proceso por vía seca, respecto a la mezcla asfáltica convencional. Por lo que, a partir de la

evaluación de los ensayos realizados, el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada tiene los siguientes beneficios: presenta menor pérdida de resistencia por efecto del agua (Inmersión - Compresión y Tracción Indirecta), mayor resistencia a la deformación con valores de deformación permisibles (Marshall), mayor cohesión y resistencia al esfuerzo cortante (Compresión Diametral), mayor resistencia al ahuellamiento y menor daño por humedad (Rueda de Hamburgo), mejora el comportamiento elástico (Módulo Resiliente), así como presenta similar comportamiento en la resistencia a la disgregación de la mezcla (Cántabro). Los cuales se traduce en mayor durabilidad ante agentes agresores e incrementa de la vida útil del pavimento.

1. Para la mezcla asfáltica convencional, se determinó el contenido óptimo de asfalto de 5.2%, con el cual se logró el mejor comportamiento mecánico de la mezcla, cumpliendo los requerimientos de diseño de acuerdo al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013), obteniéndose los principales resultados de: Estabilidad (1252 kg), Flujo (13.2 – 0.01”), Densidad (2.444 gr/cm³), Resistencia Retenida (88.5%), Resistencia Conservada (84.9%), Resistencia a la Compresión (3.0 Mpa).
2. Para las mezclas modificadas con granos de caucho, se determinó el contenido óptimo de asfalto de 5.2% e incorporación de caucho del 0.5%, con el cual se logró el mejor comportamiento mecánico de la mezcla, cumpliendo con los Criterios del Instituto del asfalto (1982) y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013), obteniéndose los principales resultados de: Estabilidad (2001 kg), Flujo

(13.7 – 0.01”), Densidad (2.420 gr/cm³), Resistencia Retenida (97.4%), Resistencia Conservada (93.7%), Resistencia a la Compresión (4.4 Mpa).

3. La diferencia en cuanto al comportamiento mecánico en función de los parámetros Marshall, de la mezcla modificada con la incorporación de granos de caucho mediante el proceso por vía seca, con respecto a la mezcla asfáltica convencional, se tiene lo siguiente:

La Estabilidad de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en 61%.

El Flujo de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es ligeramente mayor que el flujo de la mezcla asfáltica convencional en 4%, pero su incremento no es significativo.

4. La diferencia en cuanto al comportamiento de la mezcla en función de las propiedades de los ensayos de caracterización y desempeño, de la mezcla modificada con la incorporación de granos de caucho mediante el proceso por vía seca, con respecto a la mezcla asfáltica convencional, se tiene lo siguiente:

- La Resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que la resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica convencional en 53%.

La Resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad (grupo seco) de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que la resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad de la mezcla asfáltica convencional en 47%.

La Resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad (grupo húmedo) de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que la resistencia de mezclas asfálticas al daño inducido por humedad de la mezcla asfáltica convencional en 63%.

La Perdida por desgaste de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es ligeramente mayor que la perdida por desgaste de la mezcla asfáltica convencional en 3%, pero su incremento no es significativo.

El Módulo Resiliente a 20°C de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que el módulo resiliente de la mezcla asfáltica convencional en 45%.

El Módulo Resiliente a 25°C de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que el módulo resiliente de la mezcla asfáltica convencional en 50%.

El Ahuellamiento de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es menor que el ahuellamiento de la mezcla asfáltica convencional en 32%.

5. Es fundamental determinar los parámetros tiempo y temperatura de digestión en la incorporación de caucho mediante proceso por la vía seca. El tiempo y temperatura de digestión debe cumplir con un mínimo necesario para que el caucho interactúe con el asfalto, modificando la reología del asfalto original y consecuentemente el comportamiento de la mezcla. Para esta investigación a la temperatura de 158°C por un tiempo de digestión de 2 horas se obtuvo un mejor comportamiento de la mezcla modificada con caucho respecto a la mezcla convencional.

6. Por otro lado, la utilización del caucho se considera como una solución para el desarrollo sostenible por la reutilización de residuos de materiales, resolviendo el problema de la disposición final de ellos y disminuyendo la contaminación, lo cual está enmarcado en la Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente: Principio del Derecho Ambiental V y la Ley N° 27446 - Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental: Criterio 2 de Protección Ambiental, leyes ambientales vigente del país. Sin embargo, en el país tenemos las malas prácticas de quemar los neumáticos o dejarlos en los botaderos esperando que los neumáticos se degraden naturalmente por 1000 años contaminando al ambiente en ese proceso.
7. Se puede comprobar que el asfalto modificado con caucho reciclado reduce el periodo de mantenimiento costo por kilómetro en un 76.5% de la vía generando un ahorro de \$4151.30 km/año, ya que para el asfalto modificado respecto a su manteniendo se estima un monto de \$13,519.20. Mientras que para el asfalto convencional \$17,670.50.
8. Las mezclas asfálticas modificadas no alteran los procedimientos usados normalmente en los trabajos de pavimentación ya que se quitó parte del agregado fino para incorporar el polvo de caucho.
9. La mezcla asfáltica con incorporación de caucho mejora el comportamiento mecánico del asfalto PEN 60/70; respecto a que disminuye su susceptibilidad térmica, aumenta su cohesión e incrementa su impermeabilidad; garantizando un buen desempeño de la capa de rodadura del pavimento.
10. El proceso de producción de la mezcla asfáltica convencional y modifica con adición de 0.5 % de caucho, al ser comparado económicamente. Se observó que la modificada presenta un 4.11 % menor en costo de producción, teniendo un

ahorro de S/. 546.67 por metro cúbico de asfalto producido, dando a entender un ahorro significativo en grandes cantidades.

REFERENCIAS

- Angulo Rodríguez, R. A. y Duarte Ayala, J. L. (2005). Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6916/2/118188.pdf>
- Bermejo Muñoz, J. M., Gallego Medina, J. y Saiz Rodríguez, L. (2014). Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático (5ª ed.). Madrid, España: SIGNUS Ecovalor, S.L. Recuperado de https://www.signus.es/wpcontent/uploads/2017/06/Guia_betunes_signus_de_f.pdf
- Bermejo Muñoz, R. (2010). Llantas usadas para pavimentos. XI Congreso Nacional Del Asfalto y II Concreto. Asociación Peruana de Carreteras. Recuperado de <http://ligante-asfaltico.blogspot.pe/p/llantas-usadas-en-pavimentos.html>
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (2007). Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosa (6ª ed.). Madrid, España: CEDEX. Recuperado de http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/27EDCC96-7C3A-42B5-96B7-F6B87D0BD3DF/116371/Manual_NFU.pdf
- Clavijo Rey, C. M. y Aranda Rojas, C. A. (2014). Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla densa en caliente tipo mdc-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes (25%, 75%) respectivamente. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia. Recuperado de <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-ANALISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20FISICO%20->

% 20MECANICO% 20DE% 20UNA% 20MEZCLA% 20DENSE% 20EN% 20
CA

LIENTE% 20TIPO% 20MDC2% 20MODIFICADA% 20CON% 20CAUCHO
% 20Y% 20CUERO.pdf 182 Definición ABC. (2017).

Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje (2013). Manual de
Experiencia Española del Caucho NFU en las mezclas asfálticas. Madrid,
España. Recuperado de
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GB1dsyHXCIYJ:
www.recuperacion.org/proyecto/vernoticias.aspx%3FIdNoticia%3D164+yct=1yhl=es-419yct=clnkygl=pe](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GB1dsyHXCIYJ:www.recuperacion.org/proyecto/vernoticias.aspx%3FIdNoticia%3D164+yct=1yhl=es-419yct=clnkygl=pe)

Gallego Medina, J. y Saiz Rodríguez, L (2017). Guía para la fabricación de betunes
con polvo de neumático (5ª ed.). Madrid, España: SIGNUS Ecovalor, S.L.
Recuperado de
[https://www.signus.es/wpcontent/uploads/2017/06/Guia_de_betunes_2017_
WEB.pdf](https://www.signus.es/wpcontent/uploads/2017/06/Guia_de_betunes_2017_WEB.pdf)

Gutiérrez Ariza, D. M. y Vivas Ramírez, S. M. (2014). Evaluación de las
propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2
MDC-2 elaborada con asfalto caucho vulcanizado de suela de bota militar.
Programa de Ingeniería Civil Universidad Católica de Colombia.
Recuperado de <http://hdl.handle.net/10983/1532>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014).
Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill/Interamericana.

Huamán Guerrero, N. W. (2011). La deformación permanente en las mezclas
asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú.

(Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Recuperado de

http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman_gn.pdf

Instituto del Asfalto (1982), Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22. Lexington, Estados Unidos: Asphalt Institute. 183

Instituto de Desarrollo Urbano (2015). Mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con grano de caucho reciclado – GCR. Boletín técnico N°3. Recuperado de <http://slideflix.net/doc/199037/bolet%C3%ADn-grano-de-caucho-reciclado>

Kennedy T.W. (1983). Tensile Characterization of Highway Pavement Materials. (Research Project 3-9-72-183). State Department of Highways and Public Transportation. The University of Texas at Austin. Recuperado de <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase2/183-15F-CTR.pdf>

Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (2001). Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (2005). Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones (2010) Pavimentos Urbanos - Norma CE.010, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Lima, Perú.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.
- Moreno Anselmi, L. A. (2013). Comportamiento monotónico de mezclas asfálticas MDC-2 adicionadas con desecho de caucho-cuero. Revista Academia y Virtual, 6(2) 56-66. doi:10.18359/ravi.409
- Moya Calderón, R. y Saravia A, G. (1988). Probabilidad e Inferencia Estadística. Lima, Perú: San Marcos
- Navarro Dupré, N. (2013). Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115523> 184 Norma AASHTO T 283 (2003). Standard Method of Test Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage.
- Norma AASHTO T 324 (2014). Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).
- Norma AASHTO TP 31 (1996). Standard Test Method For Determining The Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension.
- Norma ASTM D 3515 (2001). Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures. Norma NLT 346/90 (1990). Resistencia a la compresión diametral de mezclas bituminosas.

Norma UNE 103 300-3 (1993). Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa Norma UNE 53526 (2001). Elastómeros. Caucho vulcanizado. Determinación de la densidad.

Norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX (2012). Materiales producidos a partir de neumáticos fuera de uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas.

Norma UNE-EN 933-2 (1996). Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.

Nuha Salim. M., Asim Hassan. A., Mohamed Rehan. K. y Mahrez Abdelaziz. (2013). A Review on using crumb rubber in reinforcement of asphalt pavement. The Scientific World Journal 2014, 21. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/214612> 185

Ocampo, M., Caicedo, B. y González, D. (2002). Mezcla asfáltica mejoradas con caucho molido proveniente de llantas usadas. Revista de Ingeniería No 16, 175 – 180. Recuperado de <https://es.slideshare.net/hugoaliacor/mezclas-asfálticas-mejoradas-con-cauchomolido-proveniente-de-llantas>

Ramírez Palma, N. I. (2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez/sources/ramirez_n.pdf

Reyes Lizcano. F. A., Madrid Ahumada. M. F. y Salas Callejas. S. X. (2007).

Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). *Infraestructura Vial*, No 17.

Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/277171116_Mezclas_asfalticas_modificadas_con_un_elastomero_caucho_y_un_plastomero_tiras_de_bolsas_de_leche_con_asfalto_80-100

Rodríguez Castro, E. (2016). Uso de polvo de caucho de llantas en pavimentos

asfálticos. *Boletín técnico PITRA-Lanamme UCR*, 7(4), 1-7. Recuperado de

http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitionuevo/images/boletines/Boletin_PITRA_4_-_2016.pdf

Rondón Quintana, H. A. (2011). Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho

de llanta (GCR): estado de conocimiento y análisis de utilización en

Colombia. VI Jornada de Pavimentos y Mantenimiento Vial, Bogotá D.C.

Colombia. Recuperado de <http://es.slideshare.net/alexa842003/articulo-asfalto-caucho>

Rondón Quintana, H. A., Molano Mora. Y. y Tenjo Lancheros, A. M. (2012).

Influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia bajo carga monotónica de mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho

reciclado de llantas. *Rev. Tecnológica* N° 29, ISSN 0123-7799, 13-31.

Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n29/n29a02.pdf> 186

Tratamiento de Neumáticos Usados. (2016). Memoria 2016. Alicante, España:

Tratamiento Neumáticos Usados, S.L. Recuperado de

http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_16.pdf

ANEXOS



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

**INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6925 / ASTM D6927)
(RESUMEN)**

SOLICITANTE : BACH NEFI MORONI SALCEDO
UBICACIÓN : LIMA
PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : SEPTIEMBRE 2019

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)

CANTERA LA GLORIA
PIEDRA CHANCADA 1/2" : 48.0%
ARENA CHANCADA : 40.5%
CAUCHO MOLEDO : 2.5%
ASTM D-3615 :
GRADACIÓN D-5 :

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de asfalto : ASFALTO 60/70
% óptimo de C.A. : 5.2

3.- ADITIVO

Tipo de aditivo : ADHESOL 10000
% de aditivo en peso del C.A. : 0.5

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

	75	75	75
Nº DE GOLPES			
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.0	5.2	5.4
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.241	2.246	2.250
VACÍOS (%)	9.0	8.5	9.1
V.M.A. (%)	16.70	16.70	16.70
P.L.V. (%)	51.4	54.0	56.8
FLUJO (0.25 mm)	10.8	17.4	18.3
ESTABILIDAD (kg)	1141.0	1144.0	1138.0
Relación polvo - asfalto	1.21	1.10	1.11
Relación estándar (kg)	2760	2567	2649

5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)

Según carta de viscosidad
Temperatura de mezcla : 153°C - 158°C
Temperatura de compactación : 144°C - 147°C

6.- OBSERVACIONES

- Se recomienda realizar los ensayos futuros que exija la especificación EG-2013.
- Se utilizó 0.5% de mejorador de adherencia con respecto al peso del asfalto Mejorador de adherencia ADHESOL 10000.
- Para la realización del diseño se utilizó el asfalto 60/70 de la Refinería Repsol.
- El diseño realizado no cumple con los parámetros establecidos por la EG-2013.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 56420



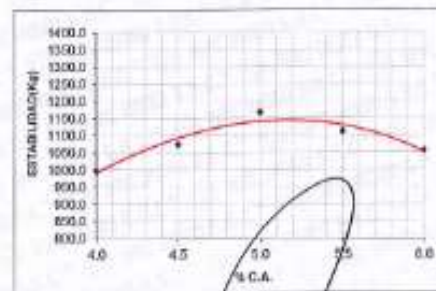
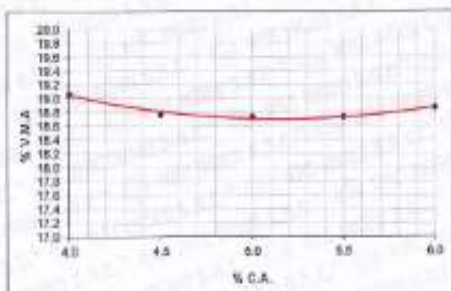
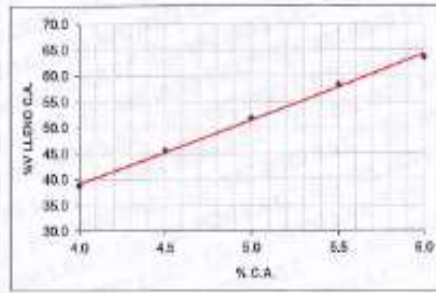
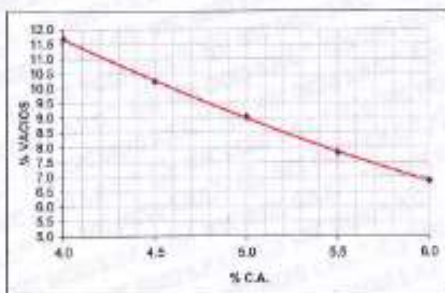
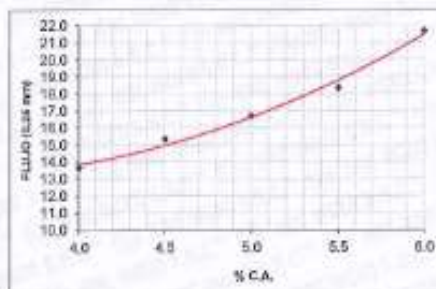
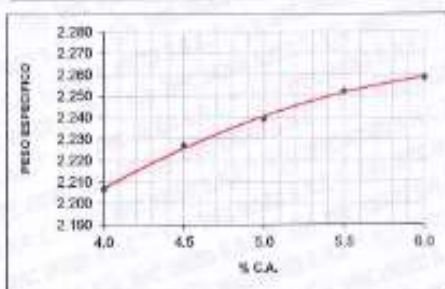
WRC INGENIO S.A.C.[®]
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : BACH. NEFI GODDY SALCEDO
 UBICACIÓN : LIMA
 PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
 FECHA DE RECEPCIÓN : SETIEMBRE 2020



OBSERVACIONES:

ASFALTO 60/70



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

JORGE ZANUZA CASTILLO
 ING. CIVIL - C# 68428

LIMA: Calle Las Magnolias Mz. H1 Lt. N° 3 - Urb. Los Jazmines de Naranjal - S.M.P. • Telf.: (01) 485-0702 / Cel.: 988 339 871 / 985 034 720
 BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel.: 971 138 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 832 • Cel.: 985 034 720
 JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 070 - Sect. Morro Solar • Cel.: 985 034 720
 E-mail: adm@wrcingeosac.com



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSIAC.COM

**INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFALTICAS
METODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6627)**

INDICANTE: MACH. 0001-SALCADO
UBICACION: LIMA
PROYECTO: TERCERA VIALIDAD EN EL CILINDRO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS
REFERENCIA: VIALIDAD EN CALIENTE
Escala: 1:100

	1	1A	1B	2	2A	2B	3	3A	3B	4	4A	4B	5	5A	5B
1) C.A. EN FASE DE LA MEZCLA	4.8	4.8	4.0	4.5	4.3	4.3	4.5	4.2	5.2	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
2) A. GRABADO DEL FRENTE DE LA MEZCLA	46.08	48.08	45.08	46.84	46.84	45.84	45.08	45.08	45.08	45.08	45.08	45.08	45.08	45.08	45.08
3) A. GRABADO DEL FONDO DE LA MEZCLA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4) A. TENDIDO GENERAL DEL FONDO DE LA MEZCLA	47.52	47.52	47.52	47.27	47.27	47.27	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03	47.03
5) C.A. EN FASE DE LA MEZCLA	2.40	2.40	2.40	2.36	2.36	2.36	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
6) FRENTE DE LA MEZCLA	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
7) FONDO DE LA MEZCLA	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713
8) FRENTE DE LA MEZCLA	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666
9) FONDO DE LA MEZCLA	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
10) FRENTE DE LA MEZCLA	1193.3	1179.3	1167.7	1156.0	1145.0	1135.5	1127.2	1119.6	1112.5	1106.0	1100.0	1094.4	1089.0	1083.7	1078.6
11) FONDO DE LA MEZCLA	1193.3	1179.3	1167.7	1156.0	1145.0	1135.5	1127.2	1119.6	1112.5	1106.0	1100.0	1094.4	1089.0	1083.7	1078.6
12) FRENTE DE LA MEZCLA	857.0	832.8	809.8	787.6	766.2	745.4	725.2	705.6	686.5	667.7	649.2	631.0	613.0	595.2	577.6
13) FONDO DE LA MEZCLA	857.0	832.8	809.8	787.6	766.2	745.4	725.2	705.6	686.5	667.7	649.2	631.0	613.0	595.2	577.6
14) FRENTE DE LA MEZCLA	3.255	3.207	3.158	3.109	3.059	3.009	2.959	2.909	2.859	2.809	2.759	2.709	2.659	2.609	2.559
15) FONDO DE LA MEZCLA	3.255	3.207	3.158	3.109	3.059	3.009	2.959	2.909	2.859	2.809	2.759	2.709	2.659	2.609	2.559
16) FRENTE DE LA MEZCLA	2.406	2.418	2.430	2.442	2.454	2.466	2.478	2.490	2.502	2.514	2.526	2.538	2.550	2.562	2.574
17) FONDO DE LA MEZCLA	2.406	2.418	2.430	2.442	2.454	2.466	2.478	2.490	2.502	2.514	2.526	2.538	2.550	2.562	2.574
18) FRENTE DE LA MEZCLA	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7
19) FONDO DE LA MEZCLA	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7
20) FRENTE DE LA MEZCLA	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7
21) FONDO DE LA MEZCLA	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7	39.7
22) FRENTE DE LA MEZCLA	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568
23) FONDO DE LA MEZCLA	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568
24) FRENTE DE LA MEZCLA	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42
25) FONDO DE LA MEZCLA	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42
26) FRENTE DE LA MEZCLA	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08
27) FONDO DE LA MEZCLA	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08	10.08
28) FRENTE DE LA MEZCLA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29) FONDO DE LA MEZCLA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30) FRENTE DE LA MEZCLA	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888
31) FONDO DE LA MEZCLA	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888	888

WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JOSUE ZAMBRANO
INGENIERO CIVIL





WRC INGENIO S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : TESIS - INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS
 UBICACIÓN : LIMA
 SOLICITANTE : SACH, NEPI GODDY SALCEDO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
 FECHA : 04/08

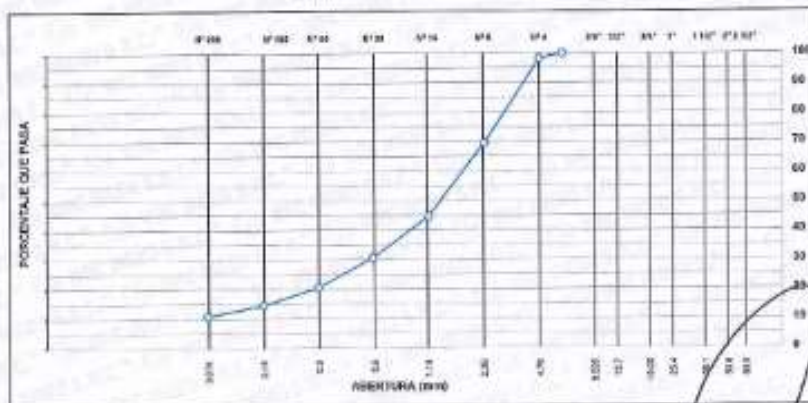
DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANGAZA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					
MUESTRAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350			100.0	
#4	4.750	1.3	1.7	98.8	
#8	2.360				
#10	2.000	26.0	26.6	73.4	
#20	0.850	24.1	25.3	74.7	
#30	0.600	14.0	29.3	70.7	
#40	0.425				
#50	0.300	10.0	29.5	70.5	
#60	0.250				
#100	0.150	6.0	35.5	64.5	
#200	0.075	3.7	39.2	60.8	
< 0.075	ASTM C-117	10.8	100.0	0.0	

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

CURVA GRANULOMÉTRICA



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
 JORGE ZAPATA CASTILLO
 ING. CIVIL - TEP 66430

LIMA: Calle Las Magnolias Mz. H1 L1. N° 3 - Urb. Los Jazmines de Naranjal - S.M.P. • Tel.: (01) 485-0702 / Cel.: 988 338 871 / 985 034 720
 BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel.: 971 136 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 632 • Cel.: 985 034 720
 JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 670 - Sect. Mono Solar • Cel.: 985 034 720
 E-mail: adm@wrcingeosac.com



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : LIMA
 SOLICITANTE : SACH, NEM GODOY SALCEDO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
 FECHA : 04/20

DETALLE DE LA MUESTRA

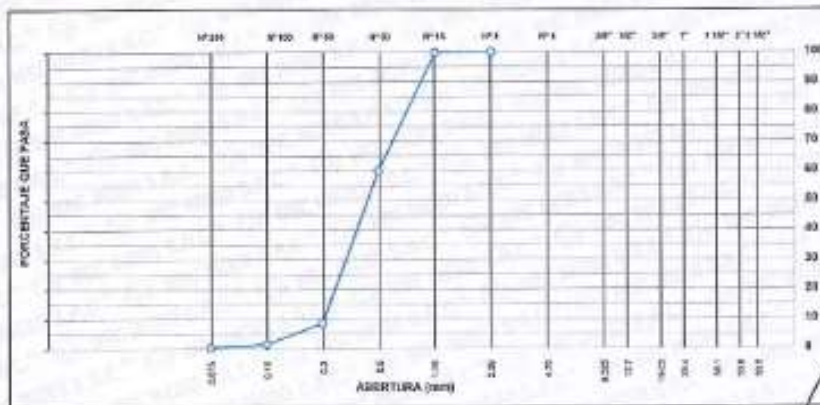
IDENTIFICACIÓN :

DESCRIPCIÓN : CAUCHO MOLEDO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					ESPECIFICACIÓN
SEÑE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAS. %	RET. AC. %	PASA %	
2"	50.800				
1.50"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.000				
1/2"	12.500				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
Nº 4	4.750				
Nº 6	3.350				
Nº 8	2.360			100.0	
Nº 10	2.000				
Nº 16	1.180	0.1	0.1	99.9	
Nº 20	0.840				
Nº 30	0.600	26.8	26.9	73.1	
Nº 40	0.425				
Nº 60	0.250	51.5	51.4	48.5	
Nº 80	0.175				
Nº 100	0.150	7.1	66.5	92.9	
Nº 200	0.075	1.3	92.7	98.7	
< Nº 200	(ASTM D-412)	0.9	93.0	99.0	

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

CURVA GRANULOMÉTRICA



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
 JORGE ZAPATA CASULLO
 ING. CIVIL - CIP 10523

LIMA: Calle Las Magnolias Mz. H1 L1, N° 3 - Urb. Los Jazmines de Naranjal - S.M.P. • Tel.: (01) 485-0702 / Cel.: 980 339 871 / 985 034 720
 BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel.: 971 138 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 632 • Cel.: 985 034 720
 JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 870 - Sect. Morro Solar • Cel.: 985 034 720
 E-mail: adm@wrcingeosac.com



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

**INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)
(RESUMEN)**

SOLICITANTE : DACIL NEFI GODDY SALCEDO
UBICACIÓN : LIMA
PROYECTO : TESIS - INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : DICIEMBRE 2020

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)

CANtera LA OLORIA
Piedra Chancada 1/2" : 48.0%
Arena Chancada : 50.5%
CauchO MOldO : 1.5%
ASTM D-3855 :
GRADACIÓN D-5

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de asfalto : ASFALTO 60/70
% óptimo de C.A. : 5.2

3.- ADITIVO

Tipo de aditivo : ADHESOL 10000
% de aditivo en peso del C.A. : 0.6

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

	75	75	75
NP DE GOLPES			
CUMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.8	5.2	5.4
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.310	2.344	2.349
VACIOS (%)	5.1	5.6	5.1
V.M.A. (%)	16.20	16.17	16.18
R.B.V. (%)	61.3	64.4	67.7
FLUJO (0.25 mm)	14.2	14.8	15.5
ESTABILIDAD (kg)	1497.8	1462.0	1460.0
Relación polvo - establo	1.23	1.18	1.18
Relación estabilidad (%)	4120	3932	3725

5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)

Según carta de viscosidad
Temperatura de mezcla : 153°C - 158°C
Temperatura de compactación : 144°C - 147°C

6.- OBSERVACIONES

- 1.- Se recomienda realizar los ensayos laboratorios que exige la especificación EO-2013.
- 2.- Se utilizó 0.6% de mejorador de adherencia con respecto al peso del asfalto -Mejorador de adherencia ADHESOL 10000.
- 3.- Para la realización del diseño se utilizó el asfalto 60/70 de la Refinería Repsol.
- 4.- El diseño realizado no cumple con los parámetros establecidos por la EO-2013.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 68428



WRC INGENIO S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

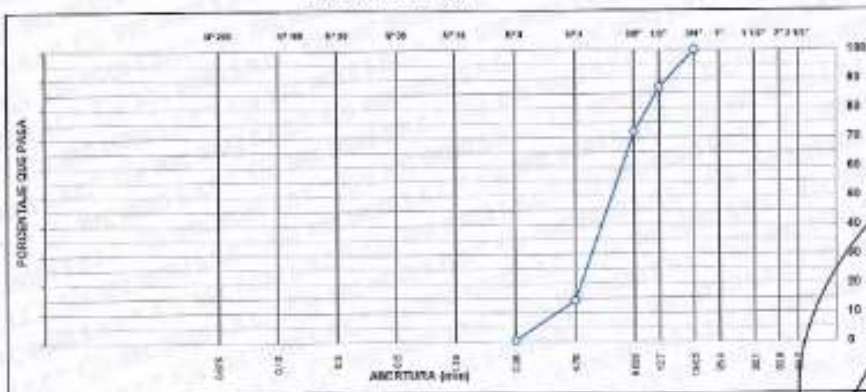
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : TESIS - UPR "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : LIMA
 SOLICITANTE : BACH. NEFI GODDY SALCEDO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
 FECHA : 18/01/20
 DETALLE DE LA MUESTRA
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : PIEDRA CHANGADA 1/2"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					
MATERIAL					
SIEVE	ABERTURA (mm)	RET. PAR. (%)	RET. AC. (%)	PASA (%)	ESPECIFICACIÓN
AMERICANA					
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.000			100.0	
1/2"	12.700	12.0	12.0	87.1	
3/8"	9.525	13.2	25.1	71.9	
1/4"	6.350				
#4	4.750	57.7	85.0	14.2	
#8	3.350				
#16	2.000	13.7	30.5	0.5	
#30	1.180	0.4	30.2	0.1	
#60	0.540				
#120	0.250				
#250	0.140				
#500	0.075				
<#200	(ASTM C-411)				

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

CURVA GRANULOMÉTRICA





WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGENIOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASPÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : TESIS - UPR INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS
 UBICACIÓN : LIMA
 SOLICITANTE : BASH NEFI GODOY SALCEDO
 REFERENCIA : MEZCLA ASPÁLTICA EN CALIENTE
 FECHA : 06-20
 DETALLE DE LA MUESTRA
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO						
MÉTRIC						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 DE	
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	5.5	8.2	86.8	80	100
3/8"	9.525	7.5	13.0	85.5		
1/4"	6.350					
# 4	4.750	26.8	42.0	58.0	44	75
# 8	2.500					
# 16	1.188	52.7	35.9	24.1		
# 20	0.848					
# 30	0.600	7.1	20.0	18.5		
# 40	0.425					
# 60	0.250	5.9	16.0	10.5	5	25
# 80	0.177					
# 100	0.149	3.1	10.6	7.4		
# 200	0.074	1.9	14.5	5.5	2	10
< # 200	(ASTM D-117)	5.5	100.0	0.0		

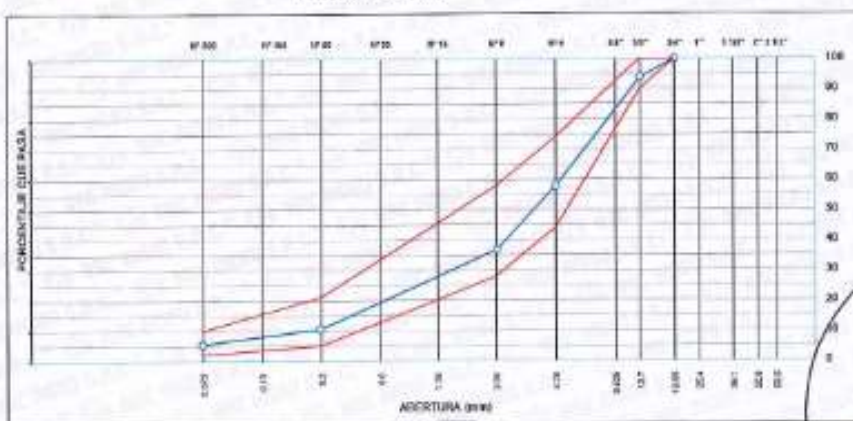
PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

PIEDRA CHANCADA 9/2" **48.0 %**
 ARENA CHANCADA **50.5 %**
 CAUCHO MOLIDO **1.5 %**
99.999 %

ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASTM D-3515 PARA MEZCLA ASPÁLTICA EN CALIENTE

CURVA GRANULOMÉTRICA



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
 ING. CIVIL CIP-6423



INFORME DE ENSAYO

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITANTE : IACH NEFI GODDY SALCEDO
PROYECTO : FEED - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LIMA
REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
F. INGRESO : SEPTIEMBRE 2020

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN
DESCRIPCIÓN : PIEDRA CHANGORA

AGREGADO GRUESO		ENSAYO		PROMEDIO
		1	2	
Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en el aire)	(g)	2008.4	2008.4	
Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en agua)	(g)	1274.9	1274.9	
Volumen de Masa + Volumen de Vacíos	(cm ³)	733.5	733.5	
Peso de Material Seco	(g)	1989.8	1989.8	
Volumen de Masa	(cm ³)	714.9	714.9	
P.E Bulk (base seca)	(g/cm ³)	2.713	2.713	2.713
P.E Bulk (base saturada)	(g/cm ³)	2.738	2.738	2.738
P.E Aparente (base seca)	(g/cm ³)	2.783	2.783	2.783
Absorción	(%)	0.94	0.94	0.94

OBSERVACIONES:

- Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario.
- Metodo de ensayo utilizado ASTM C 127.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL / CIP 68428



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

ENSAYO DE ADHERENCIA

SOLICITANTE : INDI NERI GODOY SALCEDO
 PROYECTO : TRABAJO "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : LIMA
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
 F. INGRESO : DICIEMBRE 2000

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : TPO DE PRODUCTO : ASFALTO 60/70 PLUS
 DESCRIPCIÓN : PIEDRA GRANADA

Ensayo	Resultado	Especificación
Adherencia, MTC E 517	+95	+95



OBSERVACION:

- Muestras de agregados proveídas e identificadas por el peticionario.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
 JORGE ZAPANA CASTILLO
 ING. CIVIL - CIP 68428



**INFORME DE ENSAYO
METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS
EN LOS AGREGADOS**

SOLICITANTE : SACH NEFI GODOY SALCEDO
 PROYECTO : TESIS - UPR "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : LIMA
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
 F. INGRESO : SETIEMBRE 2020

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : PIEDRA CHANCADA

A) CON UNA CARA FRACTURADA

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTÍCULAS FRACTURADAS (%)	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA (N)	RET. (N)					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1022.3	1022.3	100.0	12.9	12.9
1/2"	3/8"	707.0	707.0	100.0	15.2	15.2
TOTAL:					28.1	28.1

CON UNA CARA FRACTURADA 100.0 %

B) CON DOS A MÁS CARAS FRACTURADAS

ABERTURA MALLA		PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)	PARTÍCULAS FRACTURADAS (%)	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%)	GRADACIÓN ORIGINAL	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA (N)	RET. (N)					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1022.3	1022.3	100.0	12.9	12.9
1/2"	3/8"	707.0	707.0	100.0	15.2	15.2
TOTAL:					28.1	28.1

CON DOS A MÁS CARAS FRACTURADAS 100.0 %

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- Norma utilizada ASTM D 5821.
- El ensayo se realizó con material retenido en la malla 3/8".



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

JORGE ZAPATA CASTILLO
 ING. CIVIL COP 55428



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE ENSAYO

**METODO DE ENSAYO PARA LA INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO
DEL SULFATO DE SODIO O MAGNESIO**

SOLICITANTE: BACH NEFI GODOY SALCEDO
PROYECTO: TESIS - UPR "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN: LIMA
REFERENCIA: MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
F. INGRESO: SETIEMBRE 2019

DETALLE DE LA MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN:
DESCRIPCIÓN: PIEDRA CHANCADA

ABERTURA MALLA		N° TARA	PESO DE LA FRACCIÓN DE ENSAYO (g)		PÉRDIDA TOTAL (%)	UMBRACIÓN ORIGINAL (%)	PÉRDIDA CORREGIDA (%)
PARA (IN)	RETE (IN)		ANTES	DESPUES			
1 1/2"	1"	A	645.3	612.3	3.5	28.2	1.8
1"	3/8"						
3/8"	1/2"	B	512.3	482.5	3.8	37.7	3.3
1/2"	3/8"						
3/8"	Nº						

PORCENTAJE DE PÉRDIDA TOTAL: 3.2 %

OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el solicitante.
- Norma utilizada ASTM C 66.
- El ensayo fue efectuado con Sulfato de magnesio.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - USP 63428



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

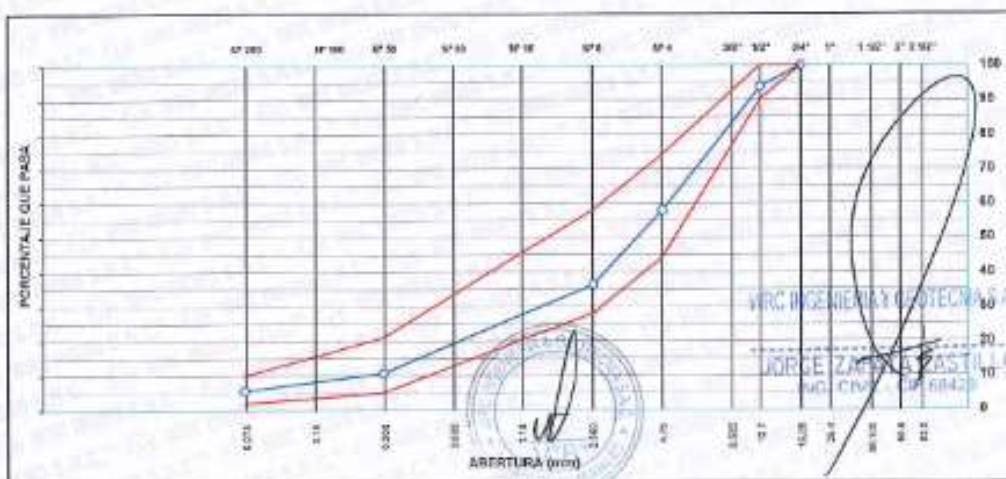
PROYECTO : TERRE - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LIMA
SOLICITANTE : BACH. NEFI GODDY SALCEDO
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA : 26/20
DETALLE DE LA MUESTRA
IDENTIFICACIÓN : M-1
DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 D5	
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	8.2	8.2	93.8	99	100
3/8"	9.525	7.0	13.6	86.6		
1/4"	6.350					
#4	4.750	26.8	42.1	57.9	44	74
#8	2.360					
#10	2.000	21.6	63.7	36.3	28	58
#16	1.180	13.0	76.7	23.3		
#20	0.840					
#30	0.600	7.3	84.0	16.0		
#40	0.425					
#60	0.250	5.3	89.3	10.7	5	21
#80	0.177					
#100	0.140	3.1	92.4	7.6		
#200	0.075	1.9	94.3	5.7	2	10
< #200	(ASTM D-117)	5.0	100.0	0.0		

PROPORCIÓNES DE MEZCLA DE AGREGADOS
 PIEDRA CHANCADA 1/2" : 45.0
 ARENA CHANCADA : 52.0

ESPECIFICACIONES
 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASTM D-3515 PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CURVA GRANULOMÉTRICA





WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE ENSAYO

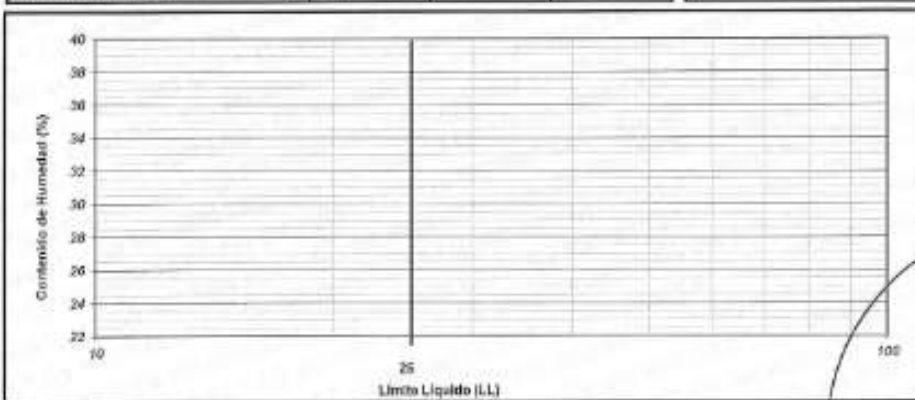
DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)

SOLICITANTE : BACH. NEFI GODOY SALCEDO
 PROYECTO : IESS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : URM
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
 F. INGRESO : 10092016

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

Limite Líquido (LL) - Método A				RESULTADOS
Número de golpes				
Tara	A	B	C	
Peso del suelo húmedo + Tara (g)				
Peso del suelo seco + Tara (g)				
Peso de tara (g)				
Peso de agua (g)				
Peso del suelo Seco (g)				
Contenido de Humedad (%)				
Limite Plástico (LP)				
TARA	D	E		
Peso del suelo húmedo + Tara (g)				
Peso del suelo seco + Tara (g)				
Peso de tara (g)				
Peso de agua (g)				
Peso del suelo seco (g)				
Contenido de humedad (%)				



OBSERVACIONES:
 1. Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario.
 2. Metodo de ensayo utilizado ASTM D 4318.
 3. Se realizó con material pasante en la malla N°200.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

JORGE ZAPATA CASTILLO
 INC. EN REG. SUP 05428



ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO

SOLICITANTE : BACH. NEFI GODDY SALCEDO
 PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : LIMA
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
 F. INGRESO : 10/06/2020

DETALLE DE LA MUESTRA
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

ÍNDICE DE DURABILIDAD		MUESTRA		PROMEDIO
		1	2	
Tamaño máximo (pesante malla N° 4)	(mm.)	4.76	4.76	
Hora de inicio de saturación		14:00	14:13	
Hora de término de saturación	(duración: 10 min)	14:10	14:23	
Hora de inicio de agitado		14:10	14:23	
Hora de término de agitado	(duración: 10 min)	14:20	14:33	
Hora de inicio de decantación		14:21	14:34	
Hora de término de decantación	(duración: 20 min)	14:41	14:54	
Altura máxima de material fino	(mm.)	5.75	5.80	
Altura máxima de la arena	(mm.)	3.30	3.20	
Índice de durabilidad	(%)	57.4	57.1	58

OBSERVACIONES:

1. Muestra tomada e identificada por el solicitante.
2. Norma utilizada ASTM C 3744.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
 JORGE ZAPATA CASTILLO
 ING. CIVIL - Nº 65420



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

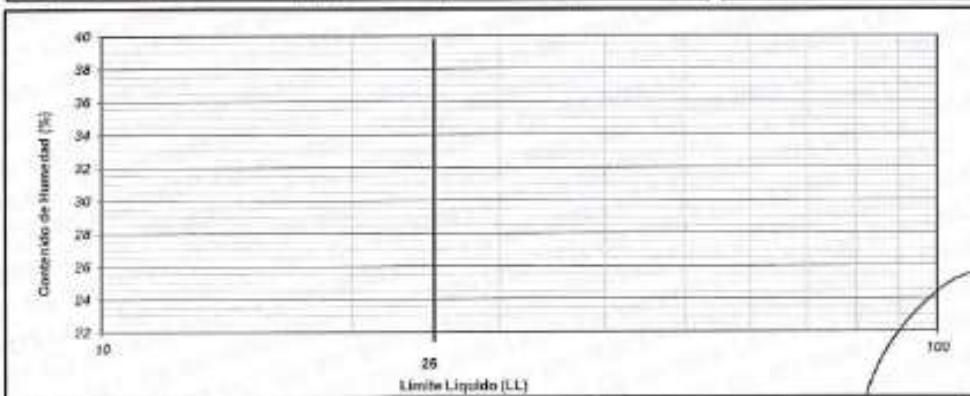
INFORME DE ENSAYO

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)

SOLICITANTE : SACH. NEFI GODDY SALCEDO
 PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : UMA
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
 F. INGRESO : 10/09/2020

DETALLE DE LA MUESTRA
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

Límite Líquido (LL) - Método A				RESULTADOS
Número de golpes				
Tara	A	B	C	
Peso del suelo húmedo + Tara (g)				
Peso del suelo seco + Tara (g)				
Peso de tara (g)				
Peso de agua (g)				
Peso del suelo Seco (g)				
Contenido de Humedad (%)				
Límite Plástico (LP)				
TARA	D	E		
Peso del suelo húmedo + Tara (g)				
Peso del suelo seco + Tara (g)				
Peso de tara (g)				
Peso de agua (g)				
Peso del suelo seco (g)				
Contenido de humedad (%)				



- OBSERVACIONES:**
- Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario.
 - Método de ensayo utilizado ASTM D 4318.
 - Se realizó con material pasante en la malla N°40.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
 ING. CIVIL N° 12420



INFORME DE ENSAYO

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO

SOLICITANTE : BACH. NEFI MORONI SALCEDO
 PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : UMB
 REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
 F. INGRESO : 10/09/2020

DETALLE DE LA MUESTRA:
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHARGADA

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO	MUESTRA		PROMEDIO
	1	2	
Peso del agregado fino + cilindro	345.6	345.0	
Peso del cilindro	186.3	186.3	
Peso del agregado fino	159.3	158.7	
Volumen del cilindro	100.0	100.0	
Gravedad específica del agregado fino	2.714	2.714	
Vacios no compactados	41.3	41.6	41.4

GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO FINO	ENSAYO	
		1
Peso Material Saturado Superficialmente Seco (en el aire)	(g)	500.00
Peso de Fiola	(g)	164.7
Peso de Fiola + Material	(g)	664.71
Peso de Material + Fiola + Agua	(g)	982.2
Peso del Agua	(g)	317.5
Peso de Material Seco	(g)	495.40
Volumen de Masa	(cm ³)	182.5
P.E Bulk (base seca)	(g/cm ³)	2.714
P.E Bulk (base saturada)	(g/cm ³)	2.740
P.E Aparente (base seca)	(g/cm ³)	2.785
Absorción	(%)	0.93

OBSERVACIONES:

- Muestras de agregados provistos e identificadas por el peticionario.
- Metodo de ensayo utilizado ASTM C 1252



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C

JORGE ZAPATA CASTILLO
 ING. CIVIL (CIP 10428)



WRC INGENIO S.A.C.[®]
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE ENSAYO

**METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION RAPIDA DEL VALOR DEL AZUL DE METILENO
EN LOS AGREGADOS FINOS O MINERAL DE RELLENO**

BOLETAANTE : BACH 50100007 SALCDO
 PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
 UBICACIÓN : LIMA
 REFERENCIA : DADO DE MEDIDA EN CALIENTE
 F. INGRESO : 18092006

DETALLE DE LAS MUESTRAS
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

ENSAYO	VALOR DE AZUL DE METILENO (mg%)
ARENA CHANCADA	6.0

OBSERVACIONES :

1. Muestras de agregados previstas e identificadas por el peticionario.
2. Metodo de ensayo utilizado AASHTO TP 57.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C
JORGE ZAPATA RESTREPO
 ING. CIVIL, CIP 18420



WRC INGENIO S.A.C.[®]
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE ENSAYO

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA
EN SUELOS Y AGREGADOS FINOS**

SOLICITANTE : BACH. NEFI MORONI SALCEDO
PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LIMA
REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CASBRE
F. INGRESO : 10/03/2022

DETALLE DE LA MUESTRA
IDENTIFICACIÓN :
DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

Nº DE ENSAYO	1	2	3
Hora de entrada a calibración	15:25:00	15:30:00	15:28:00
Hora de salida de calibración	15:30:00	15:40:00	15:45:00
Hora de entrada a decantación	15:30:00	15:45:00	15:48:00
Hora de salida de decantación	15:58:00	16:03:00	16:08:00
Altura esboma de material fino (mm)	5.0	5.1	5.0
Altura esboma de la arena (mm)	3.3	3.3	3.3
Equivalente de Arena (%)	66	65	66
Promedio Equivalente de Arena (%)	66		

OBSERVACIONES:

- Muestras de agregados provistas e identificadas por el peticionario.
- Método de ensayo utilizado ASTM D - 2419.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.

JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 66428



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE ADHERENCIA EN AGREGADO FINO - RIEDEL WEBER

SOLICITANTE : BACH. NEFI MORONI SALCEDO
PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LIMA
REFERENCIA : DISEÑO DE MEZCLA EN CAJENTE
F. INGRESO : 10/09/2020

DETALLE DE LA MUESTRA
IDENTIFICACIÓN :
DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

MUESTRA	DESPRENDIMIENTO PARCIAL		DESPRENDIMIENTO TOTAL	
	NUMERO	LETRA	NUMERO	LETRA
ASFALTO 6079 PLUS + AGREGADO FINO	8	OCHO	10	DIEZ

OBSERVACIONES:

- Muestras de agregados previstas e identificadas por el peticionario.
- Método de ensayo utilizado: MYC E-220.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL COP 41425



WRC INGENIO S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO

PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (COMPACTADAS)

ASPHITO T-224

PROYECTO	TUBO LUNA INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS			
UBICACIÓN	LIMA			
SOCIETATE	BACH NEFI GODOY SALCEDO			
REFERENCIA	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA			
F. DE PROYECCIÓN	7/2018 (M. 303)			
INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS O ESPÉCIMENES DE ENSAYO				
CANTIDAD	LA GUERRA			
DESCRIPCIÓN	PRB20 CALIFORNIA 90 - ANÁLISIS PARA SE EN UNO (MUESTRAS)	GRANDEUR DE VIBRÓN	7.7	
ALIVIO	0.2%	CURVADO EL ASFALTO	5.8	
ASPHITO	80/100 45/50			
DATOS INICIALES DE LA PRUEBA				
NÚMERO DE CORREO	900	2029	TEMPERATURA DE BARRIDO	59 °C
TIPO DE MUESTRA	Clase No. 1		NÚMERO MÁX. PASADAS	20000 pesadas
DIÁMETRO	50 mm		PROFUNDIDAD MÁXIMA	5.5 mm
ESPESES	50 mm		VELOCIDAD DE LA RUEDA	52 revoluciones/min
RESULTADOS FINALES				
PROFUNDIDAD PENETRANTE	4.11 mm			
TIPO DE MODO DE FRACASO	ARTIA			
PROBADA UTILIZADO	EN EL TANQUE			
TEMPERATURA MÁXIMA	59.9 °C			
TEMPERATURA MÍNIMA	50.1 °C			
PASADAS	20000			
OBSERVACIONES				
ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA ASPHITO T-224.				



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - N° 16428



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO

PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CUENQUE COMPACTADAS

ASPHITO T - 324

PROYECTO : TASA - 07N TUBIFICACION DEL PUEBLO DE CAJON DE PROYECTO DE NEUMÁTICOS DE LA FUNDACION DEL OROTELUMPO
 UNIDAD : IMA
 ALIADO : BADI AETI GODOY SALCEDO
 REFERENCIA : BUREO DE LA VILLA DE CAJON DE
 F. DE RECEPCION : 17/06/2016

INFORMACION DE LAS MEZCLAS O PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

CANCHA :	LA GUARA	PORCENTAJE DE VACIO :	7.5
COLOCACION :	PRIMO COMPACTACION - ZONA EMPEDORADA	COEFICIENTE DE AMALIO :	1.2
ARTES :	0.3%		
ASALTO :	ASPHITO EXYTO		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

NÚMERO DE ENSAYO :	999 2020	TEMPERATURA DE ENSAYO :	36 °C
TIPO DE MUESTRA :	Doble Ráctico	NÚMERO MAX. PASADAS :	20000 pasadas
DIÁMETRO :	150.0 mm	PROFUNDIDAD MÁXIMA :	11.0 mm
ESPESOR :	85.0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA :	83 pasadas/min

RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL INT. :	8.47 mm		
TIPO DE MODO TÉRMICO :	AGUA		
FEDERACION DE DADO :	DHS, TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA :	40.2 °C		
TEMPERATURA MÍNIMA :	30.0 °C	PASADAS :	20000

OBSERVACIONES

ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA ASPHITO T-324.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 68425



WRC INGENIO S.A.C.®
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6026 / ASTM D6927)
(RESUMEN)

SOLICITANTE : RACH. NEFI GODDY SALCEDO
UBICACIÓN : LIMA
PROYECTO : TESIS - UPR "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : DICIEMBRE 2020

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)

CANTERA LA GLOBA

PIEDRA CHANCADA 1/2" : 48%
ARENA CHANCADA : 52%
: ASTM D-3015
: GRADACIÓN D-9

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de asfalto : ASFALTO 60/70
% óptimo de C.A. : 5.2

3.- ADITIVO

Tipo de aditivo : ADHESOL 10000
% de aditivo en peso del C.A. : 0.5

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

R ^o DE GOLPES	75		
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.0	5.2	5.4
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.437	2.444	2.449
VACIOS (%)	4.0	3.8	3.8
V.M.A. (%)	14.37	14.33	14.32
R.B.V. (%)	71.0	74.7	78.6
FLUJO (0.25 mm)	13.7	13.2	13.7
ESTABILIDAD (kg)	1261.0	1252.0	1229.0
Relación polvo - asfalto	1.39	1.36	1.48
Relación estabilidad/kg	2019	2742	3537

5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)

Según carta de viscosidad
Temperatura de mezcla : 153°C - 156°C
Temperatura de compactación : 144°C - 147°C

6.- OBSERVACIONES

- 1.- Se recomienda realizar los ensayos tentativos que exige la especificación CG-2013.
- 2.- Se utilizó 0.5% de mejorador de adherencia con respecto al peso del asfalto -Mejorador de adherencia ADHESOL 10000.
- 3.- Para la realización del diseño se utilizó el asfalto 60/70 de la Refinaria Repsol.
- 4.- Para validar este diseño se recomienda realizar los ensayos de desempeño a la Mezcla Asfáltica.



WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 17428



WRC INGENIO S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WRCINGEOSAC.COM

**INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASPÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6927 / ASTM D 6927)**

MEZCLAS ASPÁLTICAS
LIMA
TENDIENDO A LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6927 / ASTM D 6927)

	1	1A	1AP	1B	1C	1D	1E	1F	1G	1H	1I	1J	1K	1L	1M	1N	1O	1P
1.1 CA EN POLVO DE LA MEZCLA	4.0	4.8	4.8	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
2.1 A GRANOS (NOT EN POLVO DE LA MEZCLA)	45.28	46.02	45.05	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54	42.54
3.1 A GRANOS CHANCADO (ENTRADO DE LA MEZCLA)	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32	49.32
4.1 POLVO SIFESFEO DEL CAJAMARCA	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024
5.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713	2.713
6.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698
7.1 POLVO DE LA ERLENKAMER (POLVO SIFESFEO)	1142.2	1141.2	1142.0	1142.8	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5	1142.5
8.1 POLVO DE LA ERLENKAMER (POLVO SIFESFEO)	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4	899.4
9.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	475.5	475.7	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3	475.3
10.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368	2.368
11.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.361	2.362	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361
12.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361	2.361
13.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
14.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
15.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	14.3	14.9	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
16.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	52.3	53.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3
17.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
18.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
19.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
20.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	10.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
21.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	8.4	8.68	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48
22.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
23.1 POLVO SIFESFEO BLANCO DEL APURÍ (POLVO SIFESFEO)	1030	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1037

WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
JORGE ZAPATA CASTILLO
ING. CIVIL - CIP 48428





WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

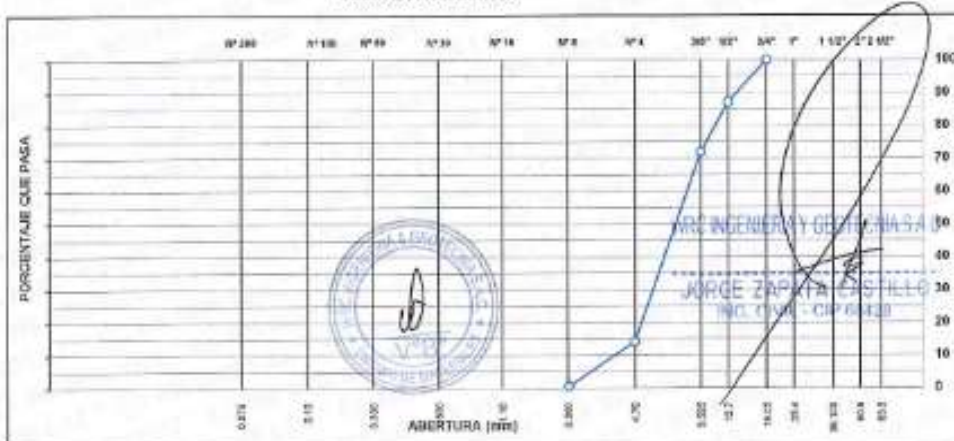
PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LIMA
SOLICITANTE : BACH. NEFI-GODOY SALCEDO
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA : 04-20

DETALLE DE LA MUESTRA
IDENTIFICACIÓN :
DESCRIPCIÓN : PIEDRA CHANCADA 1/2"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					
MILÍMETROS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA. %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.000				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.0	
1/2"	12.500	12.0	12.0	87.1	
3/8"	9.525	15.2	28.1	71.9	
1/4"	6.350				
# 4	4.750	57.7	65.8	14.2	
# 6	3.350				
# 8	2.380	13.7	99.8	0.5	
# 10	2.000				
# 16	1.180	0.1	99.9	0.1	
# 20	0.840				
# 30	0.600				
# 40	0.425				
# 50	0.297				
# 60	0.250				
# 80	0.175				
# 100	0.149				
# 200	0.074				
< # 200	(ASTM C-113)				

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMA: Calle Las Magnolias Mz. H1 LI. N° 3 - Urb. Los Jazmines de Naranjal - S.M.P. • Tel.: (01) 485-0702 / Cel.: 988 338 871 / 985 034 720
BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel.: 971 138 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 632 • Cel.: 985 034 720
JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 870 - Sect. Morro Solar • Cel.: 985 034 720
E-mail: adm@wrcingeosac.com



INFORME DE DISEÑO

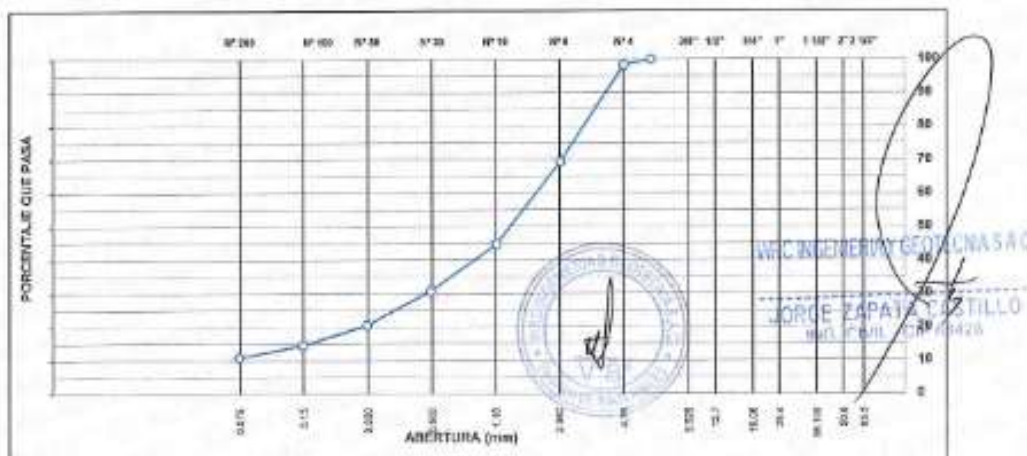
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : TEBB - UPN INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS
 UBICACIÓN : LIMA
 SOLICITANTE : BACH. NEFI GODDY SALCEDO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
 FECHA : 06/20
 DETALLE DE LA MUESTRA
 IDENTIFICACIÓN :
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANGADA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)					
MUESTRAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.000				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350			100.0	
#4	4.750	1.7	1.7	98.3	
#10	2.000				
#20	0.840	28.9	30.5	69.4	
#40	0.425				
#60	0.250	14.0	59.5	39.7	
#100	0.150	8.0	85.0	14.0	
#200	0.075	3.7	89.2	10.8	
< #200	(ASTM C-117)	35.8	100.0	0.0	

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

CURVA GRANULOMÉTRICA





WRC INGENIO S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : TESIS - UPN "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LIMA
SOLICITANTE : BACH. NEFI GODDY SALCEDO
REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
FECHA : 8/1/20

DETALLE DE LA MUESTRA
IDENTIFICACIÓN : M-1
DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS

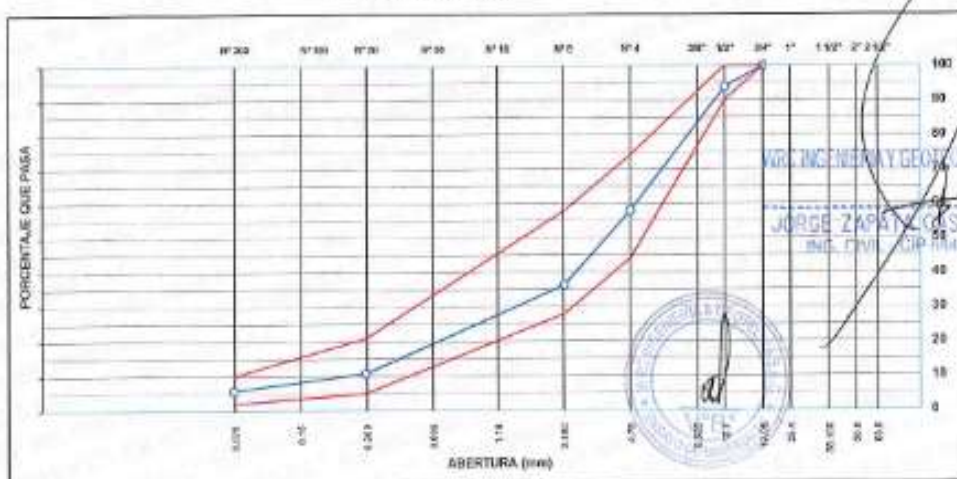
COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO					
MALLAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA. %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 DS
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.0	100 100
1/2"	12.500	8.2	8.2	91.8	90 100
3/8"	9.525	7.3	13.5	86.5	
1/4"	6.350				
# 4	4.750	28.0	42.1	57.9	64 75
# 6	3.350				
# 8	2.360	21.0	63.7	36.3	38 50
# 10	2.000				
# 16	1.180	13.0	76.7	23.3	
# 20	0.850				
# 30	0.600	7.3	84.0	16.0	
# 40	0.425				
# 60	0.250	5.3	89.3	10.7	5 21
# 80	0.175				
# 100	0.149	3.1	92.4	7.6	
# 200	0.075	1.9	94.3	5.7	2 10
< # 200	(ASTM C-117)	5.8	100.0	0.0	

PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

PETRA CHANCADA 12"	48.0
ARENA CHANCADA	52.0

ESPECIFICACIONES:
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASTM D-3515 PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMA - Calle Los Magnolios Mz. H1 LL N° 3 - Urb. Los Jaquines de Narcajal - S.M.P. • Tel: (01) 485-0702 / Cel: 988 339 871 / 985 034 720
BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel: 971 138 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 832 • Cel: 985 034 720
JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 870 - Sect. Morro Solar • Cel: 985 034 720
E-mail: adre@wrcingeosac.com



TDM ASFALTOS

ASFALTO SOLIDO PEN PLUS 60/70

GUIA TDM ASFALTOS

CLIENTE: _____

REFERENCIAS

TANQUE: _____

CINTILLO DE SEGURIDAD N°: _____

LOTE DE PRODUCCIÓN: _____

CANTIDAD: _____

1 GALONES

FECHA DE PRODUCCIÓN: _____

21.03.2017

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MINIMO	MAXIMO	
PENETRACION 5 s, 25 °C	D-5	dmm	60	70	63
PUNTO DE INFLAMACION	D-92	°C	232	-,-	296
GRAVEDAD ESPECIFICA 15.6/15.6°C	D-70		Reportar		1.024
DUCTILIDAD 5 cm/min, 25°C	D-113	cm	100	-,-	> 105
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D-2042	%	99	-,-	99.94
EFEECTO DE CALOR Y AIRE (PELICULA FINA)	D-1754		MINIMO	MAXIMO	
PERDIDA POR CALENTAMIENTO	D-1754	%	-,-	0.8	0.130
PENETRACION RETENIDA % original	D-5		52	-,-	74.1
DUCTILIDAD 5 cm/min, 25°C	D-113	cm	50	-,-	96.5
INDICE DE PENETRACION	(*) Francés RLS		-1	1	-0.3
FLUIDEZ					
VISCOSIDAD CINEMATICA 100°C	D-2170	cSt	Reportar		4733
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C	D-2170	cSt	200	-,-	500
ADHERENCIA	D-3625		MINIMO	MAXIMO	
REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO	D-3625	%	> 95	-,-	> 95

OBSERVACIONES:

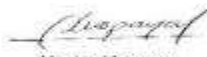
La muestra de asfalto cumple especificaciones de calidad

La temperatura de mezcla está entre 153 °C - 158 °C

La temperatura compactación de la mezcla esta entre 144 °C - 147 °C

(*) OTRO METODO

Original: Cliente
Copia 1: Área Técnica
Copia 2: Producción
Copia 3: Laboratorio


Hector Huapaya
Laboratorista

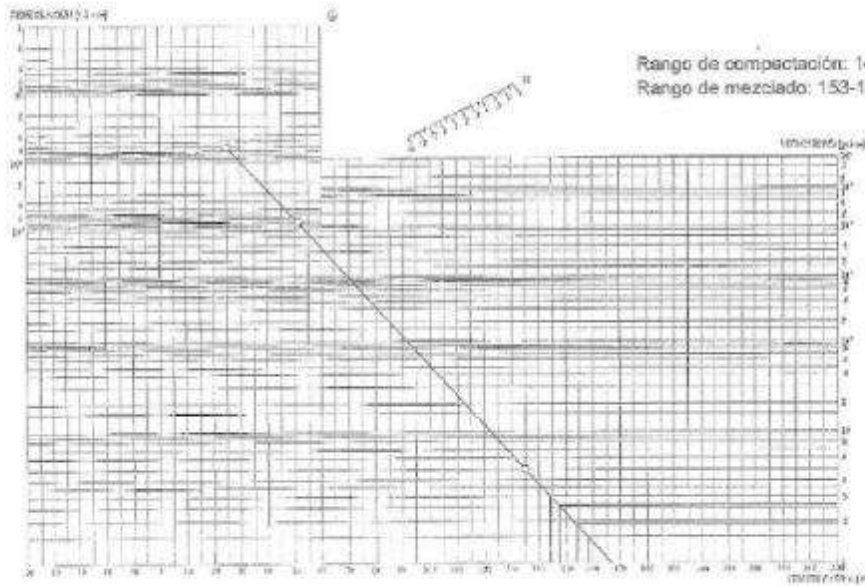

Wendy Herencia
Jefe del Área Técnica



Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín
Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

PRODUCTO: PEN PLUS 60/70



Huapaya

Hector Huapaya
Laboratorista

Wendy Herencia

Wendy Herencia
Jefe del Área Técnica

La temperatura de mezcla está entre 153 °C - 158 °C

La temperatura compactación de la mezcla esta entre 144 °C - 147 °C



WRC INGEO S.A.C.[®]
INGENIERIA Y GEOTECNIA

ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO

WWW.WRCINGEOSAC.COM

COT. N°	1105 - LEM - ENSAY - 2020
FECHA	26/09/2020

COTIZACION DE ENSAYOS

CLIENTE :
RUC :
ATENCION : Bach. NEFI GODOY SALCEDO
PROYECTO : UPN - TESIS "INFLUENCIA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS"
UBICACIÓN : LABORATORIO CENTRAL - SMP - LIMA

Item	DESCRIPCION	Unid.	P. Unif.	Sub Total
1	ASFÁLTO			
1.01	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PATRON 60/70	1	640.79	640.79
1.02	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON CAUCHO MOLIDO 60/70 (0.5%, 1.5%, 2.5%)	3	640.79	1,922.37
1.03	LIMITE LIQUIDO Malla N°40	1	22.26	22.26
1.04	LIMITE LIQUIDO Malla N°200	1	23.87	23.87
1.05	LIMITE PLÁSTICO Malla N°40	1	21.86	21.86
1.06	LIMITE PLÁSTICO Malla N°200	1	22.67	22.67
1.07	INDICE DE DURABILIDA AG. FINO	1	78.13	78.13
1.08	ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO	1	25.30	25.30
1.09	AZUL DE METILENO	1	34.75	34.75
1.10	EQUIVALENTE DE ARENA	1	50.51	50.51
1.11	ENSAYO DE ADHERENCIA DEL AGREGADO FINO (RIEDEL - WEBER)	1	72.27	72.27
1.12	INALTERABILIDAD DE LOS AGRADOS FINOS Y GRUESOS (SULFATO DE MAGNESIO)	2	68.13	136.26
1.13	ENSAYOS QUÍMICO - S.S.T. AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	2	37.57	75.14
1.14	ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	2	57.01	114.02
1.15	ENSAYO DE ADHERENCIA DEL AGREGADO GRUESO	1	61.77	61.77
1.16	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS	1	23.18	23.18

LIMA: Calle Las Magnolias Mz. H1 Lt. N° 3 - Urb. Los Jazmines de Naranjal - S.M.P. • Telf.: (01) 485-0702 / Cel.: 988 339 871 / 985 034 720
BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel.: 971 138 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 632 • Cel.: 985 034 720
JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 870 - Sect. Morro Solar • Cel.: 985 034 720
E-mail: adm@wrcingeosac.com



WRC INGENIO S.A.C.
INGENIERIA Y GEOTECNIA

**ESTUDIOS - PROYECTOS
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO**

WWW.WRCINGEOSAC.COM

1.17	INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO	1	20.10	20.10
1.18	ENSAYO DE DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	1	42.46	42.46
1.19	RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA LOS ANGELES	1	63.42	63.42
1.20	ENSAYO DE LA RUEDA DE HAMBURGO	2	50.27	100.54
1.21	PORCENTAJE DE VMA Y VFA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS	2	33.69	67.38

COSTO DIRECTO s./ 3,619.05

IGV s./ 651.43

COSTO TOTAL DEL SERVICIO s./ 4,270.48

NÚMEROS DE CTA:

BANCO DE CREDITO (AHORRO) : 191-30608084-0-54
 N° DE CCI : 002-191-130608084-0-54-59
 BANCO CONTINENTAL (AHORRO) : 0011-0196-0200030378-30
 N° DE CCI : 011-196-000200030378-30
 BANCO SCOTIABANK (CORRIENTE) : 000-8726230
 BANCO DE LA NACIÓN (DETRACCIONES) : 000-30008367 (12%)

FORMA DE PAGO

50% de adelanto y 50% Contra entrega de informes.

Los agregados se encuentran incluidos para los ensayos de laboratorio, los insumos para el diseño de mezcla como: PEN 6070, ADHESOL 10000, CAUCHO MOLIDO. Fueron incluidos en los costos de los ensayos y proporsinado por el laboratorio WRC INGENIO S.A.C.

sin otro en particular quedo de Ud.

ATTE.

WRC INGENIERIA Y GEOTECNIA S.A.C.

WILDER REGALADO CUEVA
GERENTE DE OPERACIONES

LIMA: Calle Las Magnolias Mz. H1 LL N° 3 - Urb. Los Jazmines de Naranjal - S.M.P. • Telf.: (01) 485-0702 / Cel.: 989 339 871 / 985 034 720

BAGUA - AMAZONAS: Jr. Madre de Dios N° 400 / Cel.: 971 138 046 • TUMBES - TUMBES: Jr. Bolívar N° 632 • Cel.: 985 034 720

JAEN - CAJAMARCA: Calle Los Laureles N° 870 - Sect. Morro Solar • Cel.: 965 034 720

E-mail: adm@wrcingeosac.com